



CONVERSÃO DAS AERONAVES CESSNA 152 DE INSTRUÇÃO PARA O USO DO ETANOL

João Victor Silva Soares¹, Ayrton Nobile¹

1 – Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera, Londrina - PR, Brasil.

Autor de contato: joaovictor.silva.ano@outlook.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho é demonstrar e analisar como seria a conversão de uma aeronave Cessna 152 com motor movido a AVGAS, para um movido a Etanol, destacando quais mudanças ocorreriam no desempenho e operação, e quais os prós e os contras dessa alteração. O procedimento para coleta de dados utilizados no trabalho caracteriza-se por meio bibliográfico, pesquisa de campo com discussões junto ao professor orientador e mecânicos da área com experiências com aeronaves a Etanol, procedimento documental, visando descrever e comparar dados, com análises de manuais de motores já convertido, analisando as alterações feitas. Com o estudo constatou que algumas alterações no motor do Cessna devem ocorrer sendo principalmente a troca do giclê, e da vela de ignição, mudança do ponto do magneto, além da taxa de compressão aumentada. Com valores aproximados de 5 a 10% de potência a mais em comparação ao AVGAS, e com custos que chegam a 50% menores. Apesar dos desafios encontrados para a conversão de uma aeronave principalmente com certificação, conclui-se que é sim possível a conversão não somente do C152 mais de outras aeronaves, sendo que empresas como a Jazz Engenharia Aeronáutica que já fazem isso, certificadas pela ANAC, já que é imprescindível que aeronaves não poluentes sejam empregadas em todas as aéreas e situações possíveis, pois, sem mudanças imediatas no comportamento com a natureza terá consequências possivelmente irreversíveis.

Palavras-chave: Cessna 152; Etanol; Conversão; Aeronave.

ABSTRACT

The objective of this article is demonstrate and analyze how the conversion of a Cessna 152 aircraft with an AVGAS engine to one powered by Ethanol would be, highlighting what changes would occur in performance and operation, and what the pros and cons of this change. The procedure for collecting data used in this research is characterized by bibliographic means, field research with discussions with the guiding professor and mechanics of the area with experiences in Ethanol aircraft, documentary procedure, aiming to describe and compare data, with analysis of engines' manuals already converted, analyzing the changes. With the research, it was found that some changes in the Cessna engine must occur, mainly changing the gicle, and also the spark plug, and the magneto point, in addition to the increased compression ratio. With approximate values of 5 to 10% more power compared to AVGAS, and costs that reach 50% lower. Despite the challenges encountered for the conversion of an aircraft,

mainly with certification, it is concluded that it is possible to convert, not only the C152, but other aircraft, and companies such as Jazz EngenhariaAeronáutica that already do this, certified by ANAC, since it is essential that non-polluting aircraft be used in all possible areas and situations, because without immediate changes in behavior with nature, it will have potentially irreversible consequences.

Keywords: Cessna 152; Ethanol; Converting; Aircraft.

INTRODUÇÃO

A aviação vem tendo um salto de avanços tecnológicos, além de uma crescente participação no mercado de transportes e serviços, impactando em 35% do comércio mundial, com valores que chegam a seis trilhões de dólares, e influenciando em 3,6% do Produto Interno Bruto, o PIB mundial, segundo dados da (IATA, 2017) Associação Internacional de Transportes Aéreos. Esses resultados foram alcançados a partir de vários fatores como, evolução de motores, aeronaves, combustíveis, sistemas elétricos e eletrônicos, surgindo a necessidade de espaços de aprendizado para futuros aviadores, e também aeronaves com o propósito de ser formadores de pilotos. A partir disso foram criadas escolas de aviação, também chamados de aeroclubes, com profissionais capacitados para passar seus conhecimentos aos alunos, com a função formadora de pilotos foram escolhidas as aeronaves Aerobero, Paulistinha, e principalmente os Cessna 150 e 152.

Pensando em reduzir os custos das horas de voo, manutenções e impactos ambientais, surgiu a proposta do Ipanema movido a Etanol. A idéia foi modificar o motor das aeronaves de

instrução, passando a utilizar o Etanol com combustível. Sabendo que o Etanol possui um poder calorífico menor que o AVGAS combustível utilizado pelas aeronaves de instrução citadas acima, ou seja, possui uma menor quantidade de energia armazenada, tendo como consequência a necessidade de utilizar maiores quantidades de combustível, diminuindo a autonomia e impossibilitando assim o uso desse tipo de combustível em aeronaves que fazem grandes percursos, já que teriam que abastecer muitas vezes durante a rota, fazendo com que as aeronaves mais indicadas para a utilização desse tipo de combustível, sejam as agrícolas e de instrução que estão sempre perto de locais de pouso, além de fazerem manobras de pouso e decolagem várias vezes durante a operação. No entanto, somente algumas aeronaves agrícolas são movidas a Etanol, devido a uma permissão descrita no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) 137, podem ter motor movido a Etanol, que afirma:

“Um operador aero agrícola pode utilizar combustível não previsto no projeto de tipo aprovado da aeronave agrícola desde que opere segundo condições aceitáveis pela ANAC, estabelecida em autorização especial de voo”. (ANAC, 2012, p.17).

Deixando claro que para que tal operação tenha permissão de voo, seja necessário um acordo entre a (ANAC) Agência Nacional de Aviação Civil e os operadores.

O objetivo deste trabalho é demonstrar e analisar como seria a conversão de uma aeronave Cessna 152 com motor movido a AVGAS, para que passe a ser movido a Etanol, como ocorre nos aviões agrícolas Ipanema, destacando quais mudanças ocorreriam no desempenho, operação, além de demonstrar quais seriam os prós e os contras de uma possível alteração como esta.

Com isso expandir o conceito científico e propor com embasamentos técnicos possíveis ideias e soluções para a aplicação na prática desse modelo de alteração ainda não difundida no mundo.

O uso de aviões movidos a Etanol traz benefícios à natureza em função de ser combustíveis renováveis e com pequenas taxas de poluição, já que o carbono liberado pela queima do Etanol é absorvido pela cana-de-açúcar novamente no crescimento de novas plantas a partir do processo de fotossíntese, enquanto os combustíveis de aviação usados em vôos comerciais chegaram a gerar 915 milhões de toneladas em 2019, segundo dados da (ATAG) Air Transport Action Group. Além disso, o Etanol tem potência máxima e torque maior que os outros combustí-

veis usados. Com isso evidenciando e ratificando a utilidade de um projeto de pesquisa como este, que tem potencial de expandir o uso desse combustível e colaborar com os avanços tecnológicos da indústria aeronáutica.

REFERENCIAL TEÓRICO

Para que as aeronaves passem a utilizar o Etanol como fonte de sua propulsão faz-se necessário a modificação do mesmo. Sendo a máquina sem que o calor é adquirido através da queima de um combustível denominadas como motores de combustão (BRUNETTI, 2012), visto que de acordo com Souza (2004), os motores de combustão interna têm sido ferramenta de pesquisa há séculos e, ao longo de suas modificações, sofreu diversas evoluções, com a finalidade de aprimorar o uso de energia mecânica com base no uso de um combustível.

Dado que o AVGAS possui em sua formulação o chumbo tetraetila, que além de ser tóxico, é cancerígeno (AEROMAGAZINE, 2013), a poluição é outro ponto que desfavorece o uso do AVGAS, Márcio Augusto Sampaio De Carvalho (2011), destaca que as questões envolvendo a emissões de CO₂, são apontado como um dos principais gases do efeito estufa e do aquecimento global, dos quais esse é o gás liberado na combustão, assim como Huang et al. (2006), enaltece que o emprego de combustíveis alter-

nativos têm sido desenvolvidas tendo em vista as limitadas reservas de petróleo. Outro fator é o número de octanagem do combustível que se traduz na propriedade do combustível de ser comprimido (mistura ar/combustível), sem que haja o fenômeno da combustão espontânea, Carvalho (2011) ressalta que conforme o número de octanagem do combustível, os motores podem ter maiores taxas de compressão e pontos de avanço de ignição mais adiantados com possibilidade de obter melhorias em parâmetros como desempenho e rendimento térmico do motor. O aumento da taxa de compressão, podem induzir a um aumento da turbulência na mistura, pois geram pressões e temperaturas mais elevadas e como consequência, menor necessidade de energia para a ignição da mistura e também favorecendo-se a combustão (MARTINS, 2006). Um elemento que será estudado posteriormente é a autonomia, sendo que para Souza; Henkes (2021) autonomia, o tempo que a aeronave pode voar sem a necessidade de reabastecimento de combustível, já que em aeronaves com o uso de Etanol a autonomia é reduzida, necessitando de maior quantidade de combustível, em contraposto a isso e a favor do Etanol é uma melhor eficiência para o motor, tendo em vista que um poder calorífico inferior como no caso do Etanol, traz mais eficiência para o motor, uma vez que a água é expulsa do

motor no estado líquido, junto aos gases de exaustão, não sendo prático recuperar esse calor de vaporização. (CARVALHO, 2011).

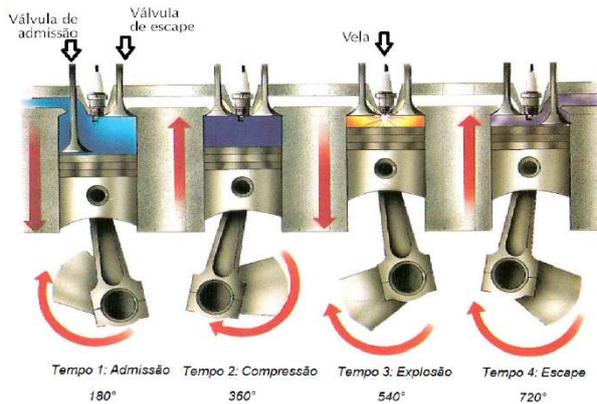
O uso do Ipanema como objeto de estudo deu-se por conta do combustível utilizado, o Etanol, que devido ao sucesso dessa versão, a EMBRAER passou a fabricar somente a IPANEMA na versão a álcool (Souza; Henkes, 2021). Para desenvolver um estudo e posteriormente um projeto sobre a conversão de motores para Etanol, salienta Souza; Henkes (2021), a necessidade de primeiro se criar uma demanda o bastante para se justificar um investimento, para tal foi definido o Cessna 152 para ser convertida, já que elas são aeronaves muito empregadas em treinamento de pilotos, e com a diminuição dos custos de operação, isso será repassado ao aluno alcançando, um público com menores condições.

Princípio de Funcionamento do Motor a Pistão

O motor a pistão aproveita a energia da queima da combustão para mover o pistão, que ligado à biela move o eixo de manivela que consequentemente move a hélice que gera a tração para a aeronave. Os motores estudados a seguir são motores a quatro tempos, sendo eles a admissão; onde o cilindro recebe a mistura ar/combustível, a compressão; onde o pistão comprime a mistura no cilindro, o chamado

tempo motor; sendo esse o único tempo “útil” para a aeronave ocorrendo nessa a ignição, combustão e expansão, o quarto e último tempo; é o escapamento em que o gás da queima do combustível é expulso do cilindro.

Figura 1 – Funcionamento do Motor Ciclo Otto



Fonte: Adaptado Liasch (2014).

Cessna 152

A aeronave usada no estudo é o Cessna 152, um avião monomotor (aeronave com um único motor), a pistão, com capacidade para somente 2 ocupantes, possuindo trem de pouso fixo e triciclo, asa alta e semi-cantiléver (aeronaves com suporte de asa). Essa aeronave é muito utilizado em treinamento pelo seu baixo custo de aquisição por volta de US \$60.000 conforme os preços do site Controller.com no ano de 2022, além de possuírem instrumentos analógicos, excelentes para a familiarização do aluno, com um motor de apenas 111 KIAS (Velocidade Indicada em NÓS) de velocidade máxima, fazendo com que sejam fáceis de controlar e fazer manobras, sendo uma

aeronave leve e pequena, estabelecendo-se como uma das melhores aeronaves para a instrução. Tendo um grande sucesso comercial com cerca de 7.500 aeronaves fabricadas desde seu lançamento na década de 70.

O C152 foi introduzido pela primeira vez em 1977 com a produção se encerrando em 1985, criado para competir com os Beechcraft Skipper e o Piper Tomahawk, ambos lançados no mesmo ano, porém tendo se destacado muito mais que os seus concorrentes.

O C152 apresenta um motor da fabricante Avco Lycoming Engine modelo O-235 possuindo quatro cilindros, horizontal oposto, carburado, de 110 CV (Cavalos de Vapor) a 2.550 RPM (Rotação por Minuto), VNO (Velocidade Máxima de Cruzeiro) de 111 KIAS e VA (Velocidade de Manobra) de 104 KIAS, 2400 Horas de TBO, com a taxa de compressão deste motor sendo de 8.5:1 e 20° de avanço da centelha.

Para ocorrer o funcionamento do motor, fazem-se necessários outros componentes sendo eles a bateria, que propicia energia para o acionamento do motor, o inversor que inverte a corrente da bateria, o alternador que fornece energia para a aeronave quando ligada, magneto que envia grandes quantidades de energia para a centelha da vela, a vela que produz a centelha, os bicos injetores que proporciona combustível para os cilindros e o starter que fornecem ener-

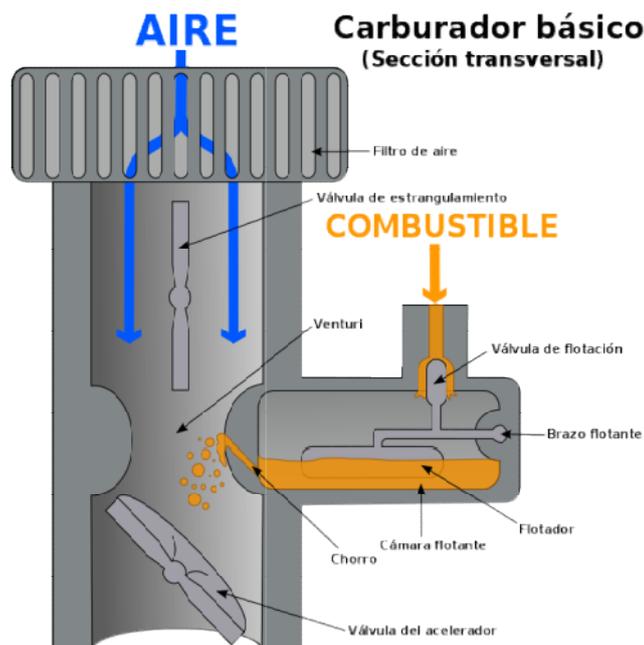
gia mecânica para os primeiros movimentos do eixo de manivela.

Possuindo controles de vôo duplos, tendo o sistema de controle de vôo consistindo em superfícies convencionais de aileron, leme e profundor que são operados através de ligações-mecânicas por cabo de aço, possuindo um garfoou manche, para comandar os ailerons e profundor e pedais para o leme.

O sistema de combustível do Cessna 152 consiste em dois tanques ventilados, uma válvula de combustível, um filtro, primer e carburador. O combustível flui por gravidade dos tanques para uma válvula seletora de combustível, por conta de sua característica de asa alta. Com a válvula seletora aberta, o combustível passa pelo filtro e vai para o carburador, prime tira o combustível do filtro e injetado direto em único cilindro. O funcionamento do carburador é feito a partir do ar aspirado pelo pistão passando em alta velocidade por um estreitamento chamado de difusor, levando parte do combustível de um pequeno-compartimento chamado Cuba. A borboleta (instalada na base do carburador) ligada por cabos a manete de potência que dosa de acordo com sua abertura a quantidade de mistura que o motor irá aspirar, quando acionada. Em marcha lenta encontrando-se a borboleta fechada, uma agulha de mistura controla a entrada de ar e combustível.

O Giclê é um orifício calibrado que serve para dosar a quantidade de gasolina que sai do pulverizador, e quanto menor o diâmetro do orifício, mais pobre será a mistura, com este diâmetro sendo fixo e determinado pelo fabricante do motor.

Figura 2 – Seção Transversal de Um Carburador



Fonte: K. Aainsqatsi (2017).

Sendo os cilindros componentes onde ocorre a queima do combustível, constituídas por duas partes principais, cabeça e corpo, aparafusadas juntas, a cabeça do cilindro é feita de uma liga de alumínio fundido com as câmaras de combustão totalmente usinadas a partir de peças forjadas de aço cromo-níquel molibdênio, os cilindros são refrigerados a ar através de aletas, por estar envolvidas com altas temperaturas. Os suportes dos rolamentos do eixo dos balancins são fundidos integralmente com a cabeça com os

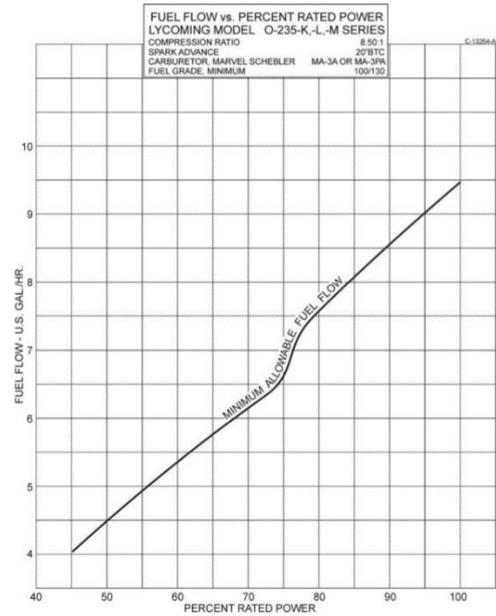
alojamentos para formar as caixas dos balancins para a abertura e fechamento das válvulas.

Os motores Lycoming O-235 são equipados com carburadores Marvel-Schebler, MA-3A ou MA-3SPA, ambos os carburadores são do tipo-flutuador de barril únicos endoequipados com controle manual de mistura e corte de marcha-lenta. A distribuição particularmente boa da mistura ar-combustível para cada cilindro é obtida a partir do sistema de indução da zona central, integrado ao cárter e está submerso em óleo, garantindo uma vaporização mais uniforme do combustível e auxiliando no resfriamento do óleo no cárter.

O tanque de combustível do Cessna é construído com liga alumínio e ficam localizados no bordo de ataque das asas, tendo um armazenamento de combustível de 87 Litros, com 43,5 em cada asa, possuindo um consumo de 9,5 Litro sem cruzeiro e 6,7 Litros com 75% da potência.

O gráfico acima apresenta a análise do consumo de combustível em relação à potência.

Quadro 1 – Gráfico Fluxo de Combustível



Fonte: Lycoming (2007).

A octanagem da gasolina usada nesse motor é o 100 ou 100LL, caso o combustível especificado não esteja disponível em alguns locais, é permitido usar combustível com maior octanagem. Combustível de octano inferior ao especificado não deve ser usado. Sob nenhuma circunstância deve ser usado combustível automotivo (independentemente da octanagem).

Ipanema 202

A outra aeronave estudada é o Ipanema modelo 202, que surgiu quando o Ministério da Agricultura Brasileiro propôs a Embraer (Empresa Brasileira de Aeronáutica) de modo a produzir uma aeronave agrícola no país, para modernizar o setor. Projetado por engenheiros do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica) e testado na fazenda Ipanema, no município de So-

rocaba, realizando o seu primeiro vôo em 1970 e sua produção teve início em 1972, saindo de fábrica utilizando AVGAS, e posteriormente sendo vendida da fábrica a Etanol, sendo a primeira e única aeronave até a data da pesquisa, com produção em série do mundo a operar com Etanol, por esse motivo ela foi escolhida para ser estudada, já que o objetivo é idealizar uma aeronave que opera com motor a Etanol. O Ipanema, em 2022 chegou ao expressivo número de 1500 aeronaves vendidas ao longo dos seus 50 anos de produção.

O Ipanema é um avião monomotor, a pistão, de asa baixa, cantiléver especialmente projetado para uso agrícola, com cabine para apenas o piloto, trem de pouso convencional fixo, custando por volta de R\$ 800.000 segundo o site (ENAER, 2022).

A bomba de combustível utilizada pelo motor é uma bomba mecânica do tipo palheta, a bomba recebe o combustível do sistema de combustível através do filtro principal de combustível, eleva sua pressão e o envia à unidade injetora. Tanto a admissão quanto a descarga ocorrem simultaneamente, o que resulta em um fluxo de combustível não pulsante.

O Ipanema 202 possui unidade distribuidora de combustível, com a finalidade de canalizar combustível para cada bico injetor e assegurar combustível uniforme para cada cilindro. Uma

vez que a unidade injetora entrega uma quantidade fixa de combustível à unidade distribuidora, a válvula abrirá somente o necessário para permitir a passagem desta quantidade de combustível para os bicos injetores e assim que o fluxo de combustível é aumentado acima das exigências de marcha lenta, a pressão nas linhas dos bicos injetores aumenta, abrindo totalmente a válvula da unidade reguladora, assim a distribuição de combustível para os cilindros torna-se função da queda de pressão através dos bicos injetores. A bomba elétrica auxiliar tem por finalidade ajudar a bomba, tipo diafragma a manter combustível com pressão à entrada da unidade injetora de combustível, para o caso de falha da bomba mecânica, acionada pelo motor, a bomba elétrica auxiliar deverá executar a tarefa. Tendo o motor equipado com velas de ignição de Iridium S blindadas.

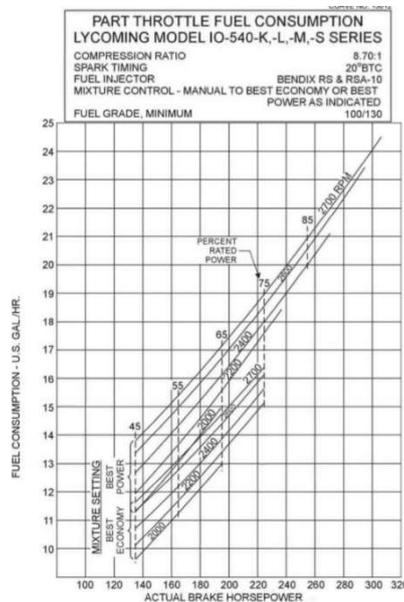
A aeronave Ipanema 202 não convertida para Etanol, apresenta um motor Avco Lycoming Engine modelo IO-540, com 6 cilindros, horizontal oposto, com injeção direta de 290 CV a 2.575 RPM, VNO de 115 KIAS, TBO (Horas Entre Revisão) de 2000 horas, com a taxa de compressão do motor de 8.7:1, e 20 de avanço da centelha.

O tanque de combustível é construído com alumínio, sendo ele o alumínio 2024 T3 que é uma das ligas 2xxx de maior resistência, o cobre e o magnésio são os principais elementos desta

liga, porém, a resistência à corrosão das ligas da série 2xxx é inferior à maioria das outras ligas de alumínio, e a corrosão inter granular pode ocorrer sob certas condições. O tanque tem capacidade para 292 litros, 146 litros em cada asa, tendo 16,5 consumo/hora a 75% da potência.

No quadro 2 é apresentado o consumo horário de combustível com parâmetros de potência e RPM.

Quadro 2 – Consumo de Combustível



Fonte: Lycoming (2006).

Etanol

O Etanol Composto químico de fórmula C_2H_5OH é amplamente utilizado em bebidas, solventes, cosméticos e outros produtos comerciais, além de ser um excelente combustível para transporte. O Etanol é prontamente metabolizado e biodegradável e não persiste no meio ambiente, sendo assim constituem fontes alternativas de

energia, que para o transporte são essencialmente vitais.

O petróleo também representa um recurso valioso para produtos químicos e materiais que se beneficiam da complexidade única do petróleo muito melhor do que queimá-lo em CO_2 e água. A aviação é responsável por 12% das emissões de CO_2 de todas as fontes de transporte, tendo intenções de até 2050 zerar essas emissões, em comparação com 74% do transporte rodoviário, de acordo com (ATAG, 2020), essa abundância torna o CO_2 o gás de efeito estufa mais potente que pode causar mudanças climáticas globais.

Algumas das características do Etanol são em ser mais volátil que a água, inflamável, tendo a queima com uma chama azul clara e possui excelentes propriedades de combustível para motores de combustão interna de ignição por centelha. A octanagem corresponde a resistência que o combustível tem a detonação, já com a mistura ar-combustível e em condições de temperatura ambiente, sendo que o número de octano de um combustível representa o percentual de iso-octano (C_8H_{18}) e de n-heptano (C_7H_{16}) contidos nele, o iso-octano um hidrocarboneto (líquido inflamável formado por carbono e hidrogênio), muito resistente à detonação, enquanto o n-heptano outro hidrocarboneto, porém facilmente detonável, tornando o funcionamento do motor impossível, com o Etanol correspondendo

a 98,5 octanos, já que seu RON (Número De Octanagem Da Pesquisa), fica na faixa entre 106 e 111, utilizando-se principalmente como RON o 107, visto que o RON é definido por n-heptano e iso-octano e seu MON (Número de Octanagem do Motor), fica com valor o de 90. Os PRFs (Combustíveis de Referência Primárias), são definidos entre 0 e 100, dificultando a medição de octanagens superiores a 100, contando com a curva de calibração de octanagem extrapolada, como ocorre no Etanol. A partir disso deve ser utilizado uma nova medida chamado de ID (Índice de Desempenho) decorrendo-se pela fórmula $3*(IO-100)$, ficando o RON do Etanol com ID de 21.

Uma gasolina, por exemplo, contendo 90% de iso-octano e 10% de n-heptano tendo um RON de 90. Seu MON fica entre 89 e 92, utilizando-se normalmente o valor de 89, classificada da mesma maneira que o RON, com 89% de iso-octano e 11% de n-heptano, com a gasolina-corresponde a 89,5 de octanagem, com o cálculo consistindo em $RON+MON/2$.

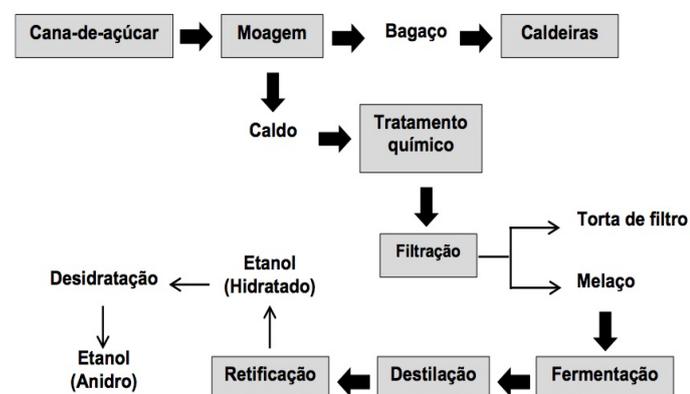
O açúcar é derivado da Cana-de-Açúcar, uma cultura tropical e subtropical tolerante à seca contendo cerca de 12 a 17% de açúcares (90% sacarose e 10% glicose) e 68 a 72% de umidade. No ano de 1975, o Brasil criou o Programa governamental conhecido com o Pró-Álcool com o intuito de converter a Ca-

na-de-Açúcar em Etanol, para o propósito de reduzir a dependência das importações de petróleo, um obstáculo para a economia da época, dessa forma foram desenvolvidas usinas específicas para a produção de Etanol.

A expectativa para a safra 2020/2021 eram que fossem colhidos 592 milhões de toneladas de Cana-de-Açúcar, segundo dados da (CONAB, 2021). Estima-se que 25,86 bilhões de litros de Etanol são produzidos por ano, com o Etanol anidro correspondendo a 9,84 bilhões de litros e para o hidratado, a previsão foi de 16,02 bilhões de litros na safra 2020/21 de acordo com (CONAB, 2021).

O Etanol anidro, cujo nome significa “sem-água” ou quase, sendo vendido como uma mistura de 22% com a gasolina, enquanto o Etanol hidratado conhecido como Etanol “puro”, contendo cerca de 4,5% de água, é usado como combustível puro.

Figura 6 – Processo de Produção do Etanol

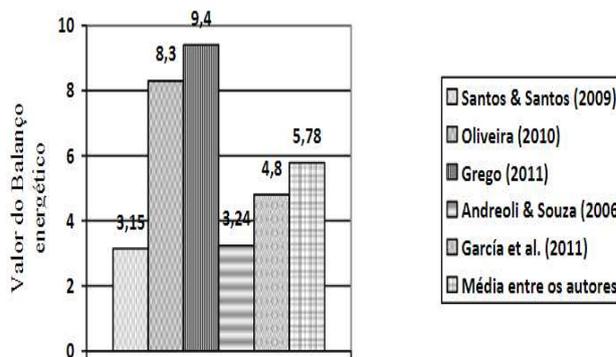


Fonte: Me Salva (2022).

E como apresentado na imagem para pro-

duzir o Etanol é necessário passar por algumas etapas como, a Cana-de-Açúcar deve ser cultivada, coletada, seca, moída, filtrada, fermentada e queimada, essas etapas necessitam de recursos e infra-estrutura e a relação entre a energia liberada adquirida pelo Etanol e a energia usada no processo até a obtenção do mesmo é conhecida como balanço de energia ou também chamado de ganho líquido de energia.

Quadro 3 – Gráfico Comparativo Entre os Balanços Energéticos Encontrados Para a Cana-De-Açúcar



Fonte: Oliveira L.; Serra; Oliveira K. (2014).

Para o cálculo do balanço energético foram usados o gasto energético nos processos agrícolas, transportes, fertilizantes, máquinas agrícolas e implementos, além de outros, resultando nesses valores.

A queima de carvão, petróleo e gás natural, libera carbono previamente capturado na atmosfera, resultando em um acúmulo de dióxido de carbono. Por outro lado, se o combustível for feito de biomassa, como Álcool, o CO₂ liberado durante o processamento e a combustão pode

ser recapturado por meio da fotossíntese, quando mais biomassa forem cultivadas para substituir a biomassa colhida, embora a biomassa seja neutra em CO₂, os insumos fósseis usados para plantar, cultivar, colher, transportar, converter e distribuir a biomassa, contribuem para o acúmulo de gases de efeito estufa e devem ser considerados.

A queima do bagaço proveniente da Cana-de-Açúcar fornecer 100% da energia térmica e em média 92% da energia elétrica necessária para o processamento do açúcar em Etanol, das quais menos de 8% da energia necessária vem de fontes fósseis. Com base na experiência brasileira no processo de produção de Etanol, 1,2 litros de Etanol é correspondente a 1,0 litro de gasolina. A substituição do bagaço excedente ou de outras fontes renováveis por combustível fóssil para gerar eletricidade poderia melhorar ainda mais o fator ambiental envolvido nos debates sobre combustíveis, no entanto, as práticas agrícolas intensivas de Cana-de-Açúcar levantam sérias preocupações sobre sua sustentabilidade, evidenciando a necessidade de algumas alterações nas práticas do cultivo para que a Cana-de-Açúcar se torne ainda mais viável.

Quadro 4 – Quadro Comparativo Entre o Etanol e a Gasolina

| | Etanol | Gasolina |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------|
| Calor Específico | 2,6777 Cal/g.°C | 4,3932 Cal/g.°C |
| Poder Calorífico | 6,300 Kcal/kg | 10,550 Kcal/kg |
| Potência Máxima | 77,2 kW | 72,2 kW |
| Torque Máximo | 131 Nm | 129 Nm |
| Octanagem | 98 | 89 |
| Temperatura de Auto-Ignição | 363°C | 250°C |
| Custo H/V em 3 anos | R\$ 6.576. 834,56 | R\$ 13.403. 835,89 |

Fonte: Suares (2022).

Calor Específico: É considerado a quantidade de calor necessária para que cada grama de uma substância sofra uma variação de temperatura correspondente a 1 °C.

Poder Calorífico: Definido como a quantidade de energia interna armazenada de uma determinada substância.

Octanagem: É um número de 0 a 100 que determina a resistência à detonação de um combustível.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo buscou desenvolver do ponto de vista operacional e econômico uma perspectiva da conversão de aeronaves modelo Cessna 152 em especial aeronaves de instrução, de combustível padrão da aviação o AVGAS para

a utilização de um combustível alternativo e renovável, o Etanol.

O procedimento utilizado para a coleta de dados do trabalho caracteriza-se por meio bibliográfico, que seria a elaboração de um material com base em outro já publicado, porém a pesquisa bibliográfica não é uma mera repetição do que já foi dito, visto que propicia a criação de tema sob novas abordagens e foco, chegando a novas conclusões e resultados (MARCONI; LAKATOS, 2019) com pesquisas de campo e discussões junto ao professor orientador e mecânicos da área com experiências em aeronaves a Etanol, procedimento documental, visando descrever e comparar dados, simulação no aplicativo Lottus Engine Simulation com análises de manuais de motores e procedimentos de aeronaves já convertidas, buscando compreender as alterações feitas além de explicá-las. A abordagem da pesquisa foi feita de forma qualitativa, por se basear na realidade para fins de compreender uma situação única (RAUEN, 2002), procurando abrir novas perspectivas de observações e quantitativas, segundo Knechtel (2014), modalidade de pesquisa que atua sobre um problema humano ou social, baseada no teste de uma teoria e composta por variáveis quantificadas em números.

RESULTADOS

Tendo, a partir dos fatos expostos, a perspectiva de que apesar de os desafios para viabilizar o uso do Etanol, é sim possível a conversão de uma aeronave e a aplicabilidade dela, no transporte aéreo, principalmente no setor agrícola e escolas de aviação, sendo operado há mais de 18 anos na área agrícola.

A certificação da ANAC, para o uso do Etanol da aviação geral, são muitas vezes mais complexas que para os SAE (Serviço Aéreo Especializado), grupo que se engloba os agrícolas, devido as várias exigências para uma maior segurança da operação aérea, devendo ser mais criteriosa e dispendiosa. Uma vez que a ANAC certifique o uso, o principal alvo será os aeroclubes, ainda que nem todas as escolas de aviação utilizem aeronaves convertidas, os aeroclubes que conseguirem, poderão oferecer melhores preços aos alunos, e serem mais competitivos e pressionarão as demais escolas de aviação a trilharem o mesmo caminho. Desta forma tem-se que todos os motivos para acelerar o uso do Etanol na aviação geral, já que um dos grandes ganhos da utilização do Etanol é por ele ser um combustível renovável, mudando a forma como o carbono liberado na combustão interage no ambiente. Os combustíveis de origem fóssil como o AVGAS proveniente do petróleo, elimina o carbono sempre positivamente, contribuindo

para o aumento do efeito estufa, pelo fato de que estando nas reservas embaixo do solo, o petróleo não polui a natureza até serem retirados e processados. Enquanto o Etanol, quando efetuada a nova cultura de plantio, absorve no mínimo a mesma quantidade de CO₂, liberada na queima, (SOMAVILA; NETO, 2003).

Na década de 80 foi feito um estudo no Brasil para a conversão da aeronave da Força Aérea Brasileira T-25 pelo DCTA (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial), nesse estudo a conversão da gasolina de aviação para o Etanol se deu nos sistemas dos quais o combustível interage com a aeronave, ou seja, os motores, tanques de combustível e linhas de transmissão, foram feitos diversos testes, como a conversão simplificada proposta pelo programa, em que somente se alterou a calibragem da injetora de combustível, sendo essa uma conversão econômica, pois, pouco se alterava a configuração básica, os resultados da pesquisa foram muito convincentes, porém, o uso continuado do Etanol num sistema projetado para outro tipo de combustível, apresentou corrosão, demonstrando que esse processo deveria ser mais criterioso, para ser adquirida uma certificação. Essa pesquisa foi paralisada e posteriormente continuada pela Neiva subsidiária da Embraer e com isso foi desenvolvido a conversão para Etanol do Lycoming IO 540.

Para que a modificação funcionasse de forma satisfatória foram necessárias, segundo Rodrigues (2009), a troca de todo o sistema de combustível do motor, incluindo as bombas de combustível, as mangueiras, o bico injetor de combustível, filtro de combustível, anéis de vedação, drenos, válvulas e cablagem. Analisando o estudo pressupunha que para a conversão do Cessna 152 serão necessárias alterações similares sendo elas:

- O giclê do carburador precisará ser substituído por um de maior diâmetro, para uma maior vazão;
- As velas de ignição também necessitam ser trocadas por outras do tipo fria, e contendo três eletrodos de platina, mais eficientes, ao invés das velas convencionais;
- O eixo de comando de válvulas deve ser substituído por outro, para modificar os tempos de abertura e fechamento das válvulas, devido ao tempo de queima diferente entre o Etanol e a gasolina;
- A taxa de compressão deve ser aumentada, já que o álcool tem poder antidetonante muito melhor do que o da AVGAS 100LL, para isso deve ser feita a redução da câmara de combustão, Stone (1999) afirma, um excessivo adiantamento do ponto de ignição, o trabalho necessário no tempo de compressão vai ser maior do que o trabalho no tempo de expansão, resultando em

diminuição do rendimento do motor;

- A mudança no ponto do magneto, devendo ser retardada;

Outras mudanças que irá colaborar para melhorias no sistema são:

- Troca dos tanques de combustível de alumínio por tanques de borracha sintética, já que nos tanques de borracha não haverá corrosão;
- Também deve ser incorporado a aeronave um sistema de partida a frio, necessário devido à menor volatilidade do Etanol em relação à gasolina;

O sistema a frio é um sistema para dar a partida nos motores em dias com temperaturas mais baixas, e para isso pode ser considerado o uso do sistema que injeta gasolina nos cilindros no momento da partida, posteriormente segue o Etanol, ou também o sistema que aquece o Etanol.

É indispensável que novos estudos sejam realizados buscando aumentar o uso de biocombustíveis pela aviação. Também deve-se considerar a adoção do uso de motores aeronáuticos que utilizem a tecnologia Flex, por exemplo, assim como a utilizada pelos automóveis brasileiros, podendo assim ser abastecidos com Etanol ou AVGAS. Já que outro aspecto também relevante e reforça o conceito da utilização do Etanol, é a relação econômica da conversão do motor O-235,

pelo fato de que em estudo da FAB foi calculado que em um período de 3 anos seria economizado um total de R\$ 6.827.001,34, com o uso de Etanol ou invés de AVGAS. Mesmo sabendo que com o estudo de Maluf (1987), o consumo, em volume, aumenta em média 30%, apontando que uma aeronave abastecida com Etanol, estaria com 30% menos combustíveis.

CONCLUSÕES

Pelo fato dos seres humanos estar em utilizando a natureza para com isso gozar de conforto e facilidades como transportes eficientes, são provocados desgaste são meio ambiente, degradando a camada de ozônio e poluindo a atmosfera, tornando-se esses fatores um enorme problema. Diante disso se torna imprescindível que se mude a maneira como se interage com o planeta.

O uso do Etanol como combustível colabora na preservação de reservas naturais e englobando sua fauna e flora, com a redução da emissão de gases nocivos não apenas para a natureza, mas também para os humanos e animais, com as emissões as causadoras do efeito estufa, sendo uma das principais preocupações global. Entretanto, a proteção da natureza, por mínima que seja, reflete em benefícios imensuráveis monetariamente, tendo em vista os valores agregados a ela.

O uso do Etanol também contribui para o sustento da autonomia nacional, devido à independência do uso de combustíveis fósseis, que em muitas vezes estão sobre controle de nações estrangeiras, ressalta (MALUF, 1987). O presente estudo mostra que uma maior proporção de Etanol nas misturas de combustível proporciona melhorias no desempenho e eficiência energética. Com tudo, esse fato revela que haverá aumento do consumo de combustível conforme se aumentava a quantidade de combustível na mistura.

Com relação às emissões, procurou-se apresentar em números o quanto a aviação ainda polui, e suas metas para o futuro. Embora as tecnologias implementadas em motores tenham minimizado os índices de poluentes provindos da combustão, ressaltando Atag (2020), que cerca de 80 milhões de toneladas de CO₂ tenham sido evitadas desde o ano de 2000, nada ainda pode ser considerado palpável para mitigar as emissões de CO₂. Por esta razão a aplicação de meios de transporte com o uso de combustíveis renováveis ou elétricos terá um papel substancial na preservação do meio ambiente.

A conversão da aeronave estudada e de outras poderia ser simplificada com um sistema FADEC (Full Authority Digital Engine Control) onde elimina magnetos, carburadores, sistema de aquecimento e de mistura, descartando até

mesmo as manetes de mistura e passo de hélice, substituindo assim as mudanças nos magnetos já que não haveriam ais, como também no carburador. Porém com o FADEC elimina o principal uso da aeronave do estudo de treinar futuros pilotos, já que otimizaria alguns processos cruciais para o aprendizado dos mesmos.

É importante ressaltar que uma conversão mal executada poderá causar graves problemas para a aeronave como no caso da pré-ignição causada por alta compressão resultando em: fraturas e outros danos nos anéis de segmento, pistões e válvulas, a perda de potência e superaquecimento do motor, além da queima do óleo lubrificante e até mesmo podendo fundir o motor em casos mais graves.

É fundamental ter discernimento que o Etanol carece de ser testado antes de o abastecimento para não ter risco de Etanol contaminado, para tal é realizado alguns testes. Consistindo em verificar a densidade, teor alcoólico, massa alcoólica, PH e máximo de água do Etanol.

Em relação ao Etanol Hidratado sua densidade precisa estar entre 807,6 a 811,0 Kg/m³, com temperatura de 20° C. Caso o Etanol atinja uma marca de 799,8 a 802,7 kg/m³.

Já o teor alcoólico estipulado pela ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Bio-combustível) precisa ser entre 95,1 a 96%.

Em relação à massa alcoólica, ela precisa

ter entre 92,5 e 93,8% da massa total do Etanol hidratado.

Com relação ao PH, ele precisa estar entre 6 ou 8, ou seja, sendo neutro.

Outro item é o limite mínimo de álcool e o máximo de água na mistura entre os dois. O mínimo de Etanol que a mistura precisa ter é entre 94,5% de volume, enquanto a água pode ser de no máximo 4,9%.

O álcool anidro, também conhecido por álcool absoluto, é aquele que possui quase 100% de Etanol puro. Da mesma forma que o Etanol hidratado, o anidro precisa ser límpido e livre de impurezas, porém ele se diferencia em relação à sua cor. Com o intuito de diferenciá-los, é preciso ser adicionado à mistura um pigmento de coloração laranja ao álcool anidro.

A densidade do álcool anidro tem que ser de no máximo 791,5 Kg/m³, não havendo especificação mínima.

Sobre a proporção de álcool, ele precisa ter um teor alcoólico de no mínimo de 99,6%.

Com massa alcoólica mínima de 99,3%.

A porcentagem de álcool para água, também é bem rigoroso, com um mínimo de 98%, enquanto a água pode ter no máximo 0,4%.

Apesar das dificuldades encontradas para a aplicação e ampliação da utilização do Etanol como combustível de aviação, é uma das soluções mais viáveis e já testadas, tendo em vista

que até 2050 a aviação planeja zerar suas e-
missões, tendo esse prazo sendo estendido,
uma vez que o prazo anterior era para 2023.

Além de todos esses pontos, um dos gran-
des ganhos é em relação á formação de pilotos,
já que com a utilização do Etanol, por ter preços

inferiores, estimula a diminuição dos preços das
horas de voo, criando oportunidade para mais
pessoas de ingressar na área, consequente-
mente fomentando a aviação no país e também
no mundo.

REFERÊNCIAS

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **Combustíveis sustentáveis para a aviação**. Dez, 2019. Disponível em:
<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/combustiveis-sustentaveis-para-a-aviacao>. Acesso em: 14 jun. 2022.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **RBAC 137 ANAC**. Maio, 2012. Disponível em:
<https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2012/21s/anexo-i-2013-rbac-137-emd-00> Acesso em: 14 jul. 2022.

AOPA. **CESSNA 150**. Jan, 2013. Disponível em:
<https://www.aopa.org/go-fly/aircraft-and-ownership/aircraft-fact-sheets/cessna-150>. Acesso em: 27 jul. 2022.

ATAG. **Facts & Figures**. Set, 2020. Disponível em:
<https://www.atag.org/component/factfigures/?Itemid=>. Acesso em: 14 jun. 2022.

AVCO Corporation. **Engine maintenance manual series IO-540-AG1A5**. Rua Oliver 652, Williamsport, PA 17701, Estados Unidos da América, Nov, 2012.

CARVALHO, Márcio de Augusto Sampaio. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Escola Politécnica, Universidade Federal Da Bahia, Salvador , 2011.

CESSNA Aircraft Company. **Pilot's operating handbook and FAA approved airplane flight manual**. Wichita, Kansas, Estados Unidos da América, Set, 1978.

CHARLES, E. Wyman. **Ehtanol fuel**. Dartmouth College Hanover, New Hampshire, Estados Unidos da América, v. 2, 2004.

COLERE Design. **Neiva Ipanema 202**. 2022. Disponível em:
<https://www.enaer.com.br/aeronave/ipanema-202/277>. Acesso em: 19 jul. 2022.

CONAB. **Produção de cana-de-açúcar deve ficar em 592 milhões de toneladas na Safra 2021/2022**. Ago, 2021. Disponível em:

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-cana-de-acucar-deve-ficar-em-592-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 26 jun. 2022.

Contributors Wikimedia. **Cessna 152**. Ago, 2003. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Cessna_152. Acesso em: 27 jul. 2022.

DEFERRARI, Diego. **Quais as partes estruturais de uma Asa de avião**. Set, 2019. Disponível em: <https://hangamma.com.br/blog/partes-estruturais-de-uma-asa-de-aviao/>. Acesso em: 18 jun. 2022.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Etanol Combustível**. Dez, 2014. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/combustiveis/etanol-combustivel.htm>. Acesso em: 27 jul. 2022.

HOMA, Jorge M. **Aeronaves e Motores**. 2009.

IATA. **Dados sobre aviação brasileira e mundial - Valor da Aviação**. Maio, 2019. Disponível em: <https://valordaaviacao.org.br/estudo/>. Acesso em: 23 jun. 2022.

IGNÁCIO, Livia. **ETHANOL**. Out, 2020. Disponível em: <https://www.sugarcane.org/sugarcane-products/ethanol/>. Acesso em: 27 jul. 2022.

Indústria Aeronáutica Neiva. **Manual de Serviços: EMB-202**. Botucatu, São Paulo, Brasil, Jun, 1996.

JUST Flight. **Cessna 152: Operating handbook**. Rua George, PE29 3GH, Reino Unido, 2018.

K. Aainsqatsi. **Carburador básico: Sección transversal**. Ago, 2017. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carburetor-es.svg>. Acesso em: 24 jun. 2022.

KNECHTEL, Maria do Rosário. **Metodologia da pesquisa em educação: Uma abordagem teórico-prática dialogada**. Curitiba: Intersaberes, 2014.

LIASCH, Jonas. **Motores aeronáuticos movidos a etanol**. Set, 2014. Disponível em: <https://culturaaeronautica.blogspot.com/2014/09/motores-aeronauticos-movidos-etanol.html>. Acesso em: 27 jul. 2022.

LYCOMING, **Lycoming Operator's Manual: Series O-235 e O-290**. 4. ed, Oliver Street, Williamsport, PA 1770, Estados Unidos da América, Jan, 2007.

LYCOMING, **Lycoming Operator's Manual: Series O-540, IO-540**. 5. ed, Oliver Street, Williamsport, PA 1770, Estados Unidos da América, Jun, 2006.

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

MARCONI, Mariana de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia Científica**. 8. ed São paulo: Atlas, 2019.

National Center for Biotechnology Information. **Ethanol**. Jul, 2022. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/ethanol>. Acesso em: 20 jul. 2022.

NovaCana. **Controle de qualidade: especificações do etanol**. Dez, 2012. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/controle-qualidade>. Acesso em: 20 jul. 2022.

OLIVEIRA, Lucas Mendes; SERRA, Juan Carlos Valdés; OLIVEIRA, Karine Beraldo Magalhães. **Balancos energéticos da produção de etanol para diferentes matérias primas**. Jun, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/32268/17227>. Acesso em: 14 jul. 2022.

Raízen Combustíveis S.A. **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ**. Abr, 2012. Disponível em: http://www.mjaviation.com.br/publicas/files/AVGAS%20100%20LL%20_ACMBP%20BR%20-%20Raizen.pdf. Acesso em: 20 jul. 2022.

RAUEN, Fábio José. **Roteiros de investigação científica**. Tubarão, Santa Catarina. UNISUL, 2002.

REGINA, Victória Ramos. **Análise técnica do uso de etanol em um motor de combustão interna para diferentes razões de compressão**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, maio 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.

Sandhills Global, & Controller.com. **CESSNA 152 Aircraft For Sale**. 2022. Disponível em: <https://www.controller.com/listings/for-sale/cessna/152/aircraft>. Acesso em: 17 jun. 2022.

SILVA, David Roberto De Oliveira; *et al.* **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.

SOMAVILA, C.; GOMES Neto, E. **Célula a Combustível: Gás Natural & Etanol; H₂ Fuel Cell Energy**. Paraná, Brasil, 2003.

SOUZA, Valdir Adileu DE; HENKES, Jairo Afonso. **O uso do Etanol além da aviação agrícola**: Um dos caminhos para a aviação geral. Revista RBAC & CIA, Florianópolis, Santa Catarina, v. 1, n. 2, p. 227-266, maio, 2021.

The World Material. **Aluminum 2024-T3**. Ago, 2021. Disponível em: <https://www.theworldmaterial.com/2024-aluminum-alloy/>. Acesso em: 22 jul. 2022.

WANG, Chongming; *et al.* **Ethanol blends in spark ignition engines**: RON, octane-added value, cooling effect, compression ratio, and potential engine efficiency gain. Applied Energy, v. 191, p. 603-619, ISSN 0306-2619, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917300946>. Acesso em: 26 jun. 2022.