



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
DEUSEDTH CESAR SOARES**

O FUTURO DO COMBUSTÍVEL NA AVIAÇÃO

Palhoça
2016

DEUSEDTH CESAR SOARES

O FUTURO DO COMBUSTÍVEL NA AVIAÇÃO

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

Orientação: Prof. Hélio Luís Camões de Abreu, Esp.



Prof (a) Mestre – MSc.

Prof (a) Doutor – Dr. (Dra.)

Palhoça
2016

DEUSEDTH CESAR SOARES

O FUTURO DO COMBUSTÍVEL NA AVIAÇÃO

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

Palhoça, 25 de novembro de 2016.

Professor orientador: Prof. Hélio Luís Camões de Abreu, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor avaliador: Prof. Jairo Afonso Henkes, Msc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, amigos, professores e ao meu orientador. Todos foram fundamentais para a realização desse trabalho que significa mais uma importante etapa concluída em minha vida acadêmica.

RESUMO

O trabalho apresentado trouxe a discussão sobre o futuro dos combustíveis na aviação. Há algum tempo que o querosene passou a ser usado no setor trazendo benefícios como uma queima mais limpa do combustível, mas com o crescimento do setor e o consumo cada vez mais alto de combustível fóssil os impactos sobre o meio ambiente já são contabilizados como altamente nocivos, outras questões como a escassez de fontes para combustíveis fósseis e o alto preço do petróleo também têm sido considerados para justificar a importância que tem sido dada a pesquisas que visam formular biocombustíveis para a aeronáutica. Assim, o trabalho teve por objetivo geral descrever pesquisas que buscam desenvolver novos tipos de combustíveis para aviação e responder à problemática de quais combustíveis a aviação se propõe a utilizar no futuro. Na metodologia para atender aos objetivos do trabalho desenvolvido e apresentado a pesquisa foi exploratória com procedimento bibliográfico e documental, de natureza qualitativa. Os principais resultados encontrados identificaram que os biocombustíveis serão utilizados no futuro, ou seja, a preocupação de pesquisadores é desenvolver e fabricar combustíveis de fonte renovável considerando aspectos como preço, disponibilidade, o meio ambiente e viabilidade operacional. As pesquisas têm avançado consideravelmente, mas ainda não preenchem todos os requisitos necessários para abastecimento das aeronaves no setor comercial, de modo que, por exemplo, as características desejáveis para combustíveis no setor, disponibilidade e preço continuam sendo perseguidas por pesquisadores.

Palavras-chaves: Meio ambiente. Biocombustível. Aeronáutica. Aviação comercial.

ABSTRACT

The presented work brought the discussion on the future of fuels in aviation. For some time, the kerosene came to be used in the industry bringing benefits as a cleaner burning fuel, but with the industry growth and consumption ever higher fossil fuel impacts on the environment are already recognized as highly harmful other issues such as the shortage of sources for fossil fuels and high oil prices have also been considered to justify the importance that has been given to research aimed at formulating biofuels for aviation. Thus, the study was overall objective describe research seeking to develop new types of aviation fuels and respond to the problem of aviation fuel which proposes to use in the future. The methodology to meet the objectives of the work and presented the research was exploratory procedure with bibliographic and documentary, qualitative. The main results identified the biofuels are used in the future, ie, a concern of the researchers is to develop and manufacture renewable fuels considering such aspects as cost, availability, environmental, and operational feasibility. Research has advanced considerably, but not yet fulfill all the requirements to supply aircraft in the commercial sector, so that, for example, the characteristics desirable for fuels in the sector, availability and price are still being pursued by researchers.

Keywords: Environment. Biofuel. Aeronautics. commercial aviation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Série histórica de querosenes de aviação militar -----	
-----	17
Figura 2 – Relação entre custo e benefícios para novas tecnologias -----	
-----	19
Figura 3 – Avião agrícola Embraer Ipanema a Etanol Hidratado -----	
-----	21
Figura 4 - Formas de energia e classificação de acordo com sua origem -----	
-----	24
Figura 5 - Evolução histórica e projeções da demanda de transporte aéreo -----	
-----	28
Figura 6 - Rendimento Anual de culturas do biodiesel -----	
-----	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	9
1.2 OBJETIVOS	9
1.2.1 Objetivo Geral	9
1.2.2 Objetivos Específicos	9
1.3 JUSTIFICATIVA	9
1.4 METODOLOGIA.....	11
1.4.1 Natureza da pesquisa e tipo de pesquisa.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Breve histórico da indústria aeronáutica.....	13
2.2 Tendências em biocombustíveis na aviação	15
2.3 Biocombustível na aviação.....	17
2.2.1 Biocombustível a partir de algas	19
2.2.2 Biocombustível Green Diesel	20
2.2.3 Biocombustível a base de Etanol	21
3 APRESENTAÇÃO DE DISCUSSÕES E RESULTADOS	23
3.1 Tecnologias biocombustível e as características desejáveis para os combustíveis na aviação	23
3.2 As vantagens no uso das tecnologias de biocombustível para aviação	27
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
ANEXO – TERMO DE CESSÃO DE DIREITOS AUTORAIS	35

1 INTRODUÇÃO

Em pouco mais de cem anos, a história da aviação cresceu e se desenvolveu a tal ponto de que hoje tem sido largamente importante no transporte de cargas e pessoas. As tecnologias empregadas na construção de aeronaves avançaram consideravelmente após a primeira e depois segunda guerra mundial.

Até determinado período do século XX muitas das aeronaves eram equipadas com motores a pistão radial em seus interiores e o uso da gasolina era o único recorrente, visto que não existiam outras alternativas de combustível. Porém, o objetivo de alcançar combustíveis que fossem mais eficientes e menos poluentes sempre foi uma preocupação da aviação tal como o estudo para o projeto de novos motores sendo que essas pesquisas deram origem a motores funcionando com o uso do querosene que ainda hoje é bastante utilizado (CGEE, 2010).

Contudo, há algumas décadas os impactos negativos gerados pela queima de combustíveis fósseis como as alterações climáticas resultantes da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera passaram a ser percebidos nitidamente, o que sugere a real urgência na busca por soluções renováveis como é o caso dos biocombustíveis (MATOS, 2012).

Assim, embora a querosene tenha trazido uma queima de combustível mais limpa e maior vida útil à câmara de combustão, por exemplo, vários pesquisadores e governantes têm investido na formulação de biocombustíveis capazes de eficiência igual ou superior aos combustíveis fósseis utilizados atualmente com menor impacto ambiental, eficiência e desenvolvimento econômico e regional.

O setor aeronáutico tem investido fortemente na busca por soluções de biocombustíveis, mas existem certas particularidades inerentes às aeronaves que ainda não permitem o uso de combustíveis diferentes do que são usados hoje e levam querosene na composição. Portanto, o presente trabalho de pesquisa tem por objetivo geral descrever os principais resultados das pesquisas que visam formular biocombustíveis para substituir os que são utilizados atualmente e representam uma importante porcentagem de risco ao meio ambiente.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Quais os tipos de combustíveis se propõe a serem utilizados mundialmente para a aviação no futuro?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Descrever pesquisas que buscam desenvolver novos tipos de combustíveis para a aviação no futuro.

1.2.2 Objetivos Específicos

Apresentar três tecnologias para biocombustível no futuro da aviação.

Apresentar as características desejáveis para combustíveis na aviação.

Apresentar os possíveis benefícios ao Meio Ambiente com a implementação de biocombustíveis na aviação.

1.3 JUSTIFICATIVA

O ser humano busca sua sobrevivência inventando, construindo, aperfeiçoando e adaptando se ao meio em que vive. Grande parte do que foi construído resiste através das décadas, tornando-se parte da história ou servindo aos interesses da própria sobrevivência humana. Técnicas de aperfeiçoamento ligadas às áreas de ciência e tecnologia, construção, planejamento de cidades, habitação, transporte dão vida, mobilidade e harmonia ao cotidiano das metrópoles.

Com o crescimento populacional e da economia dos países ao longo das últimas décadas após a Segunda Guerra, houve a necessidade de expansão das fronteiras dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, na relação comercial e diplomática, sendo necessário percorrer grandes distâncias em pouco tempo. Surgem assim, as grandes companhias aéreas com suas grandes aeronaves comerciais a jato, que ofereciam as vantagens de vôos em maiores altitudes, com conforto e com menor tempo de deslocamento do que as antecessoras, aeronaves de motores convencionais. Desde 1962 a ONU vem promovendo as discussões necessárias que buscam soluções para exploração do meio de modo sustentável.

Porém, a preocupação com o clima do planeta, reuniu numa Conferência em Estocolmo, em 1972, quando criou o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e alertou o mundo para uma exploração menos agressiva. Então em 1983, a ONU criou Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que através de um relatório emitido quatro anos depois, indicou uma direção a ser seguida pela humanidade:

Na sua essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, o direcionamento dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão em harmonia e reforçam o atual e futuro potencial para satisfazer as aspirações e necessidades humanas.” (Gro Harlem Brundtland, Relatório ONU 1987).

Vieram outras reuniões de comissões que abordaram as relações sobre o desenvolvimento humano, poluição, efeito estufa, emissão de gases (CO₂) e emissão de ruídos. Porém, os maiores êxitos foram alcançados com as COP (Conferência das Partes), com o que se conseguiu um acordo com os países que mais poluem o planeta que reduzam suas emissões de poluentes de indústrias e meios de transporte, dando um enfoque as pesquisas que busquem aperfeiçoamento e pesquisas de novos motores para a aviação, bem como tecnologias e combustíveis que possam, em longo prazo, substituir os atuais de combustão interna. Esta pesquisa tem por objetivo contextualizar o que a indústria da aviação tem feito para cumprir os acordos formalizados a partir de comitês e comissões organizadas por entidades governamentais, ambientais e privadas (ONU, EASA, FAA, ANAC etc) que vem buscando soluções que visam diminuir as emissões de poluentes provocados pelos combustíveis utilizados pelas aeronaves.

Ou seja, dentro desse contexto a crescente preocupação no mundo inteiro com as mudanças climáticas, bem como os possíveis enfrentamentos na dificuldade de obtenção do petróleo no futuro para manter os motores à combustão funcionando com a atual querosene, se torna fundamental a discussão dos dados preliminares sobre a biocombustível e os possíveis resultados com seu uso. Conhecer, entender e buscar aprofundamento nas tendências mundiais de novas tecnologias para funcionamento das aeronaves é fundamental para um olhar crítico e busca de soluções práticas que devem ser estudadas exaustivamente tanto nos centros de pesquisas como também entre acadêmicos da área.

1.4 METODOLOGIA

1.4.1 Natureza da pesquisa e tipo de pesquisa

O trabalho desenvolvido e apresentado baseou-se na pesquisa exploratória com procedimento bibliográfico e documental, de natureza qualitativa e objetivo exploratório. Segundo Gil (2007 *apud* GERHARDT e SILVEIRA, 2009) essas características metodológicas servem como ferramentas de análise mais profunda sobre determinado assunto e com isso, o pesquisador produz um material capaz de aproximar seus leitores do tema explorado. Ainda sobre tais ferramentas, Fonseca (2002 *apud* GERHARDT e SILVEIRA, 2009) o procedimento bibliográfico se dá através de leitura dos materiais literários a respeito do objeto de estudo, enquanto que o procedimento bibliográfico realiza consultas em fontes de caráter informativo como revistas, relatórios governamentais, jornais e outros. Por fim, a natureza qualitativa, segundo o mesmo autor, representa o modelo aplicado para a análise dos dados encontrado durante a pesquisa, esse como o próprio nome indica é “qualitativo”, ou seja, o desenvolvimento e leitura dos resultados dispensam representações quantificáveis para focar no entendimento analítico seja de um fenômeno social, conceito teórico ou como no nosso caso a descrição parcial sobre tendências futuras para motores, tecnologias e combustíveis na aviação.

1.4.2 População amostra ou sujeitos da pesquisa ou materiais e métodos

Para relatar os tipos de motores utilizados, bem como os diversos testes em novos motores, combustíveis e tecnologias que poderão ser empregados na aviação no futuro, foram utilizados livros, materiais de revistas, sites da internet, relatórios de comissões e todo material de consulta disponível para este fim.

1.4.3 Procedimentos de coleta de dados

O procedimento de coleta de dados usado para essa pesquisa segue a abordagem qualitativa, sua execução tem caráter prático e objetivo sobre a coleta teórica dos dados (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

1.4.4 Procedimento de análise dos dados

Procedimento qualitativo de análise de dados, com isso, é fundamental durante a aplicação do procedimento uma leitura atenta e investigativa sobre os dados encontrados. Ou seja, a compreensão dos resultados não é espontânea como aparenta ser, é necessário um trabalho exaustivo do pesquisador para a consolidação completa dos dados (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está dividido em 4 partes onde o primeiro capítulo introduz o leitor ao conteúdo discutido contendo um panorama geral, problema de pesquisa, objetivo geral e objetivos específicos como também a justificativa para a importância do estudo e a metodologia usada para o desenvolvimento do mesmo.

No segundo capítulo são apresentados os dados encontrados durante o levantamento da fundamentação teórica sobre o tema dessa pesquisa.

O terceiro capítulo apresenta uma discussão dos resultados encontrados.

No quarto capítulo estão as considerações finais sobre o estudo realizado e sugestão para novas pesquisas. Por fim, constam as referências bibliográficas que foram utilizadas ao longo do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Breve histórico da indústria aeronáutica

A história da aviação é relativamente nova se considerarmos o ponto de evolução tecnológica e acessibilidade no qual chegamos. Em 1906, o brasileiro Santos Dumont fez uma aeronave capaz de taxiar, decolar, fazer voo nivelado e pouso, tudo isso com recursos próprios. Por algum tempo, as atividades aéreas, principalmente na Europa, era tida como uma atividade esportiva e de hobby atraindo a atenção de muitas pessoas para feiras e competições (CROUCH, 2008 *apud* FAJER, 2009).

Contudo, a Primeira Guerra Mundial foi responsável por mudar o conceito da aeronáutica e impulsionar fundamentais avanços, o setor passou a receber atenção dos militares que priorizaram a formação profissional de pilotos. Após a primeira guerra o setor aéreo que era liderado pelo meio militar perdeu considerável fôlego para atividades militares, assim, se tornou necessário a reconfiguração das prioridades e fundamentos das atividades aéreas, no que por consequência mostrou novas perspectivas de mercado levando a aeronáutica ao engajamento comercial no segmento civil. Inclusive a partir de 1932 os centros militares de formação de pilotos foram aos poucos substituídos por cursos e treinamentos ministrados por companhias aéreas a fim de que as atividades aéreas fossem desvincilhadas da imagem de guerra e mais aceitáveis para atrair pessoas comuns à compra de passagens e com isso outras preocupações tomaram conta do setor como desafios de realizar voos transatlânticos e de longa duração (CROUCH, 2008 *apud* FAJER, 2009).

A aviação civil cresceu na Europa e nos Estados Unidos, criando novos nichos econômicos e substituindo paulatinamente os circos por operações com bases fixas e regulares. Os avanços na Ciência da aerodinâmica, melhores técnicas na construção dos aviões, nos equipamentos, controles e nas cabines das aeronaves permitiram que os voos se realizassem a altitudes maiores, mais rapidamente e levando mais carga e passageiros. Este período se estendeu até meados da década de 30 (GRANT, 2002 *apud* FAJER, 2009, p. 24).

Mais tarde, na Segunda Guerra Mundial, a área militar viu novamente na aeronáutica uma forte aliada, aqui as aeronaves funcionaram como reais “armas” de

guerra por seu uso em bombardeios estratégicos, apoio às tropas em terra e transporte de armas letais. Nesse período, mais uma vez a aviação militar colaborou bastante para a evolução da aeronáutica trazendo ao setor a era dos jatos, helicópteros, armas nucleares e de sistemas eletrônicos (CROUCH, 2008 *apud* FAJER, 2009).

As primeiras aeronaves a jato surgiram a partir dos anos 1950 sendo o primeiro voo de sucesso com vários passageiros ocorrido em 1958, a busca do setor por aeronaves cada vez mais leves e rápidas se intensificou, logo, na década de 1970 foram construídas aeronaves supersônicas, na década seguinte gerenciamento de voos eletrônicos e na década de 1990 conhecemos o sistema chamado *glass cockpit*, comando de sistema de voo e sistema de proteção gerenciado por sistemas inteligentes (FAJER, 2009).

No Brasil, a indústria aeronáutica levou um tempo maior para apresentar maior engajamento na evolução das aeronaves e segmento, somente entre as décadas de 1960 e 1970 é que as soluções foram pensadas e construídas para os mercados civil e militar. Em 1969, a Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER) conduziu a fabricação de três tipos de aeronaves em parceria com a CTA.¹ Na década de 1990 com o fim parcial do financiamento governamental a empresas estatais e mais tarde com desestatização e privatização da EMBRAER, o Estado consequentemente encerrou os projetos de desenvolvimento e fabricação de aeronaves, ainda que mantendo o trabalho de certificação em produtos e serviços aeronáuticos (GOMES, 2011). Atualmente, a única indústria brasileira é a única considerada de alta tecnologia mundialmente, a EMBRAER integra o grupo que conta com os quatro maiores fabricantes de aeronave do mundo, a Boeing (Estados Unidos), a Airbus (Alemanha, França, Inglaterra e Espanha) e a Bombardier (Canadá):

Ao longo das duas últimas décadas, em virtude do processo de consolidação industrial resultante do fim da Guerra Fria, esses quatro fabricantes sobreviventes (e consolidadores) organizaram-se na forma de dois duopólios para o mercado civil: Airbus e Boeing, para aeronaves a jato essencialmente de 130 a 500+ assentos, e Bombardier e Embraer, para jatos de 37 a 120+ assentos, originalmente chamados de regionais, mas que hoje operam em todos os tipos de rotas e empresas (GOMES, 2011, p. 148).

¹ Centro Técnico de Aeronáutica, antiga denominação do atual DCTA, órgão do Comando da Aeronáutica.

De acordo com Barbieri *et. al.* (2008) o padrão de concorrência da indústria aeronáutica no mundo tem foco nas inovações tecnológicas e condições de financiamento dos projetos inovadores. Assim, o avanço da tecnologia no setor aéreo é uma atividade mais recorrente entre as grandes companhias, o que é concretizado em vantagem competitiva para essas companhias frente aos concorrentes. Tendo em vista a importância da tecnologia para o setor aéreo abordaremos as tendências tecnológicas de motores e combustíveis para aviação civil.

2.2 Tendências em biocombustíveis na aviação

Até parte do século passado, a maior parte das aeronaves era composta de motores a pistão radial e abastecidas com gasolina até porque era o tipo de material disponível para se trabalhar na época. Contudo, como consequência das necessidades de guerra foi preciso reformular a gasolina para uso específico em aeronaves já que a gasolina automotiva não cumpria basicamente seu papel, os aditivos foram sendo somados à fórmula da gasolina para o setor aeronáutico e suprimindo com maior precisão suas necessidades. Mas a insistência por motores mais adequados continuou até que foi encontrada a solução de querosene da aviação como combustível que é usado até hoje em grande parte das aeronaves (CGEE, 2010).

Ao final da década de 1920 o inglês Frank Whittle patenteou o motor a jato e insistiu em provar para o Ministério Aeronáutico Britânico que o avião por propulsão a jato era satisfatório em viabilidade técnica. No primeiro momento, Whittle tentou uso do diesel como combustível, mas entendeu que a querosene de iluminação era mais ideal, assim, no comparativo entre gasolina e a querosene de iluminação ele considerou fatores de desempenho e segurança no voo nas aeronaves a jato. Assim, ele identificou que o uso de gasolina automobilística para voos de longa altitude prejudicava o funcionamento da turbina, além disso, outros problemas são trazidos pelas substâncias voláteis e escassa lubrificidade do combustível medidores como encurtamento da vida útil das bombas e de alimentação do combustível, a solução encontrada para isso foi usar na composição da gasolina chumbo tetra-etila para melhorar a octanagem, ou seja, proporcionar maior resistência do combustível à pressão quando no funcionamento do motor, porém essa alternativa também se

tornou inviável visto que por outro lado levava ao desgaste mecânico e super aquecimento no interior do motor (MAURICE, 2001 *apud* GONÇALVES, BORGES e FRAGA, 2011).

A queima mais limpa proporcionada por parafinas mais pesadas, obtidas em cortes de destilados médios presentes no querosene de iluminação, tornava o uso do querosene mais adequado ao abastecimento deste tipo de motor. Além de ofertar ao mercado grandes quantidades de um corte menos volátil, com maior densidade de energia por volume, maiores quantidades de hidrogênio presentes nas parafinas e iso-parafinas de cadeias intermediárias, e também, nas cicloparafinas, o querosene contribuía também para a redução de fuligem por meio de uma queima mais limpa e aumento da vida útil da câmara de combustão dos motores, comparando-o à gasolina (GONÇALVES, BORGES e FRAGA, 2011, p. 16).

Assim, a querosene trouxe aos motores das aeronaves o oposto do que a gasolina ocasionou, a querosene tornou a queima de combustível mais limpa e maior vida útil à câmara de combustão.

Dez anos depois, em 1939, foi projetado o primeiro motor de propulsão a jato, trabalho realizado por Hans Von Ohain com uso de hidrocarbonetos líquidos para funcionamento da turbina. No mesmo ano, outro cientista alemão propôs a experiência da utilização da gasolina automobilística para aeronaves a jato, sob a justificativa de maior disponibilidade da substância, mas assim como anteriormente identificado por Whittle a gasolina não inviável do ponto de vista operacional e de segurança do voo além de agora contar com um novo desafio: a competição entre dois mercados sendo a da aviação e o automobilístico (GONÇALVES, BORGES e FRAGA).

Como visto antes, a Segunda Guerra Mundial impulsionou os avanços tecnológicos no setor aeronáutico e a querosene para motores à jato foi uma tecnologia bastante explorada pelos militares, na figura 1 abaixo é possível visualizar a série de aeronaves de querosene da aviação militar.

Figura 1 - Série histórica de querosenes de aviação militar

Nome	Ano	Tipo	Pto congelamento (°C)	Aplicação
JP-1	1944	querosene	- 60	obsoleta
JP-2	1945	wide-cut (*)	- 60	obsoleta
JP-3	1947	wide-cut	- 60	obsoleta
JP-4	1951	wide-cut	- 72	USAF
JP-5	1952	querosene	- 46	USNavy
JP-6	1956	querosene	- 54	(programa XB-70)
JPTS	1956	querosene	- 53	alta estab. térmica
JP-7	1960	querosene	- 43	USAF(**)
JP-8	1979	querosene	- 47	USAF
JP8 +100	1998	querosene	- 47	USAF(***)

(*) wide-cut – composição com faixa de destilação mais ampla, variando desde o corte da gasolina até ao corte do querosene (fonte: Chevron, 2006); (**) menor volatilidade e alta estabilidade térmica; (***) presença de aditivo que melhora a estabilidade térmica.

Fonte: CHEVRON (2006 *apud* GONÇALVES, BORGES e FRAGA, p. 17).

Hoje, o combustível querosene de aviação é “um derivado de petróleo obtido por destilação direta com faixa de temperatura de 150 a 300°C”. Já os motores das atuais aeronaves utilizam a expansão do ar e os gases produzidos pela combustão na queima de querosene (PETROBRÁS, 2014). Porém, é necessária atenção, pois de acordo com a Força Aérea Americana (USAF) a projeção de fontes alternativas de querosene usada na aviação podem ser “extintas” até o ano de 2020, esse é um importante alerta ao setor a nível mundial, pois a demanda tem aumentado de forma contínua e expressivamente, o que caracteriza uma questão a ser pensada rapidamente (MAURICE, 2001 *apud* GONÇALVES, BORGES e FRAGA, 2011).

Com isso, o biocombustível (biodiesel) tem sido apontado como tendência para motores à combustão no setor aeronáutico para o futuro, além da importância operacional, o tipo biodiesel contribui positivamente para causar menos impactos negativos ao meio ambiente auxiliando, inclusive, no cumprimento de metas governamentais para o baixo carbono e emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2010 *apud* GONÇALVES, BORGES e FRAGA, 2011). Assim, no próximo serão abordados novos conceitos biocombustíveis para aeronáutica.

2.3 Biocombustível na aviação

Os estudos na área de projeção de aeronaves tem considerado equipar tais máquinas com motores movidos a biocombustível como uma alternativa sustentável

e assim benéfica tanto para o meio ambiente como para as próprias companhias aéreas.

O biocombustível é uma questão bastante discutida e estudada pelo setor aéreo, o objetivo principal é de reduzir os impactos dos poluentes emitidos pelas aeronaves que são construídas hoje desde a escolha da matéria até seu estágio final que é o consumo e queima do combustível (SIMÕES, SCHAEFFER, 2002 *apud* GAMARRA, BADEJO e OLIVEIRA, 2015). Mesmo com inúmeras pesquisas de aprofundamento no conceito de biocombustíveis, os resultados práticos ainda estão um pouco longe de serem alcançados visto que as incompatibilidades entre as aeronaves e o promissor combustível não foram superadas dificultando avanços no desenvolvimento da tecnologia. O combustível alternativo, ou seja, o biocombustível deve necessariamente atender a algumas características conforme seguem:

Dentre as características técnicas que o biocombustível deve apresentar, estão incluídas a necessidade de alta densidade energética, boa atomização, evaporação rápida, viscosidade adequada, ponto de congelamento baixo, boa estabilidade química, ser não tóxico, além de ser amplamente disponível e capaz de competir com os combustíveis atuais em termos de custos e disponibilidade (KALLIO, 2014 *apud* GAMARRA, BADEJO e OLIVEIRA, 2015).

Ou seja, não é um processo tão simples quanto aparenta ser, pois existem diversas questões a serem pensadas como escolha e produção da matéria prima, a viabilidade técnica, os efeitos sobre o meio ambiente e segurança do voo são algumas das mais importantes consideráveis nesse processo.

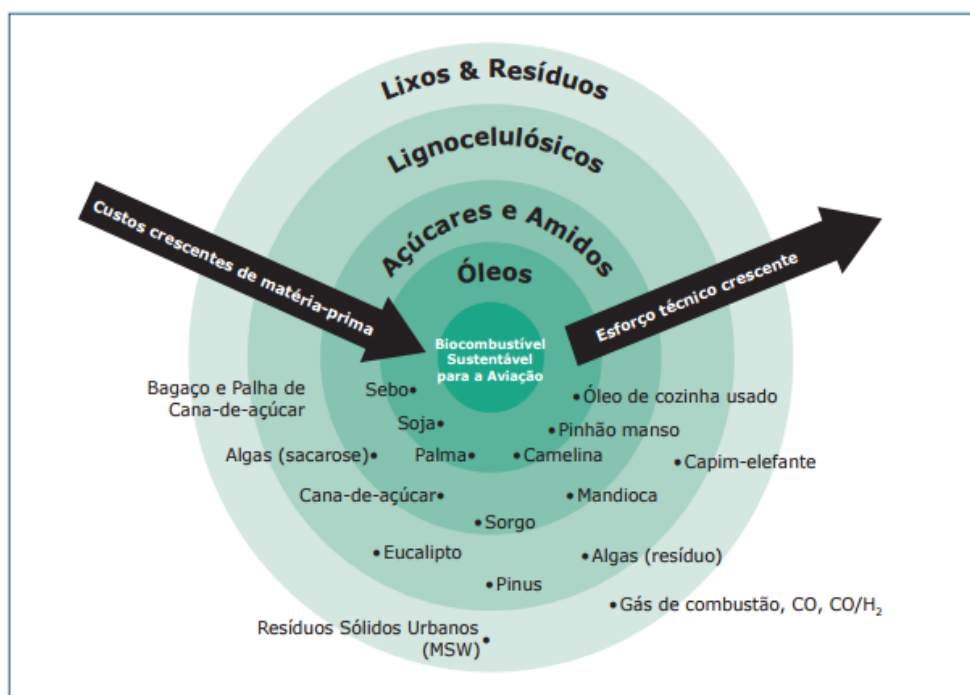
Um ponto interessante na produção de biocombustível é a busca por utilizar matérias primas inteiramente renováveis para produzir moléculas similares à atual querosene utilizado. Isso significa na prática redução dos custos, vantagem competitiva e menor impacto ao meio ambiente.

As matérias primas analisadas por estudos já citados anteriormente e vistas como as mais promissoras aliadas a realidade brasileira são as plantas que contêm açúcares e amidos, as oleaginosas e em longo prazo os resíduos urbanos e industriais. Apesar de essas matérias-primas terem elevados custos de produção comparados com as outras, como por exemplo, com os resíduos sólidos e a lignocelulose, elas necessitam um esforço técnico menor quando relacionado aos demais insumos (BOEING, et al., 2013 *apud* GAMARRA, BADEJO e OLIVEIRA, 2015).

A figura 2, abaixo, apresenta um esquema sobre o plano de matérias primas como potenciais a serem usadas no Brasil mostrando a relação entre custos e

esforços técnicos para a nova tecnologia, em que as matérias primas no centro são mais caras, porém a tecnologia para conversão tende a ser mais fácil ou menos cara. No entanto, a imagem é apenas uma ilustração para que se tenha uma ideia geral do panorama podendo haver discrepância entre os preços de matéria prima e esforços técnicos. No próximo tópico serão mostradas algumas dessas tecnologias.

Figura 2 – Relação entre custo e benefícios para novas tecnologias



Fonte: Fapesp (2003, p. 33).

2.2.1 Biocombustível a partir de algas

Algas pertencem a um vasto e diversificado grupo de organismos aquáticos, estão subdivididas em unicelulares e multicelulares. Se trata de um grupo dos mais antigos na Terra contando com pelo menos 300.000 espécies conhecidas (ALAM *et. al.*, 2012 BENSON *et.al.*, 2014 *apud* GAMARRA, BADEJO e OLIVEIRA, 2015).

O uso das algas já é amplamente utilizado na atualidade para a produção de diversos produtos como desde a indústria alimentícia até a indústria farmacêutica sendo agora bastante discutida para aplicação na produção de biodiesel. No caso dos biocombustíveis, sua produção com algas se apresenta como solução para reduzir a taxa de poluição quando comparado aos combustíveis utilizados atualmente (OLTRA, 2011 *apud* GAMARRA, BADEJO e OLIVEIRA, 2015).

Mas essa não é a única vantagem, pois em relação a outras tantas matérias primas as algas se destacam devido à rapidez e facilidade com que podem se reproduzir, inclusive podem ser utilizadas águas não potáveis e não necessariamente dependem de solo fértil (FIGUEROA et. al., 2013 *apud* GAMARRA, BADEJO e OLIVEIRA, 2015; CASTILHOS, 2008).

Contudo, existem ainda dificuldades a serem superadas para que as algas possam ser usadas como matéria prima para a produção de biocombustível em escala industrial, segundo Castilhos (2008) entre as principais dificuldades está o fato de que as algas de que a porcentagem de lipídios para cada alga está abaixo do necessário para a produção industrial do biocombustível. Embora, as pesquisas para uso da referida matéria prima tenham se intensificado na última década e com bons resultados, é fundamental “analisar a capacidade de sobrevivência no ambiente das algas, verificar se há altos índices de produtividade lipídica e manutenção das taxas de crescimento do mesmo” (SILVA, BACHOLSKY e JERÔNIMO, 2015, p. 722).

2.2.2 Biocombustível Green Diesel

O Green Diesel é uma alternativa renovável para a produção de combustível, desenvolvido nos Estados Unidos sua matéria prima é extraída de sebos, diversos tipos de óleos incluindo a reciclagem do óleo de cozinha (CNPEM, 2016).

Entre as vantagens no uso do Green Diesel é possível destacar a redução da emissão de gás carbônico e o preço de produção quando comparado a outros biocombustível:

O *green diesel* tem uma molécula parecida com a do querosene, mas obtida de forma diferente. O processo de refino é mais barato. É bastante promissor, mas a rota tecnológica ainda não foi aprovada. É uma novidade que vai aparecer no curto prazo”, afirma o diretor do centro de pesquisas da Boeing no Brasil. A principal diferença do *green diesel* em relação ao produto feito a partir da cana-de-açúcar, por exemplo, está no processo de refino. Enquanto o bioquerosene de cana-de-açúcar se beneficia da fermentação da cana, o *green diesel* utiliza alguns óleos vegetais, extraídos de gêneros botânicos como camelina, algae e jatropha (CASAGRANDE, 2015).

No entanto, a tecnologia Green Diesel ainda não recebeu certificação para comércio regular e nível industrial. A Boeing vem negociando com a Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos o uso do Green Diesel para sua frota

(ÉPOCA NEGÓCIOS, 2014). Mas essa tem sido uma forte aposta para os próximos anos na utilização de biocombustíveis.

2.2.3 Biocombustível a base de Etanol

O uso do Etanol, embora ainda não seja capaz de atender à demanda industrial já é realidade para motores alternativos, especialmente no uso de aeronaves agrícolas preparadas e regulamentadas para receber a dita tecnologia (BNDES, 2008).

Na figura 3 temos um exemplo de aeronave agrícola que usa o biocombustível à base do Etanol.

Figura 3 – Avião agrícola Embraer Ipanema a Etanol Hidratado



Fonte: BNDES (2008, p. 53).

Os avanços são promissores:

A Embraer está desenvolvendo sistemas flex-fuel para motores aeronáuticos juntamente com a empresa Magnetti Marelli, visando atender aviões agrícolas e de pequeno porte com motor a pistão, cuja frota atual no Brasil é cerca de 12 mil aeronaves. Nessas aeronaves, o uso do etanol hidratado permite expressiva economia operacional, pois reduz em mais de 40% o custo por quilômetro voado e incrementa em 5% a potência útil do motor, motivando o surgimento de empresas especializadas em converter e homologar aviões de pequeno porte para o uso desse biocombustível (NEIVA EMBRAER, 2008; AEROÁLCOOL, 2008 *apud* CGEE, 2010, p. 15).

As pesquisas para desenvolvimento e uso do etanol como combustível teve início há pelo menos 4 décadas, nos Estados Unidos desde 1980 são realizadas experiências com etanol para aeronaves. Em 1989, o motor Lycoming IO-540, injetado foi pioneiro no uso desse combustível mediante à certificação emitida pela Administração Federal de Aviação. No Brasil, foi desenvolvido projeto para uso do Etanol pelo professor João Roberto Barbosa e equipe no Centro de Tecnologia Aeroespacial (CTA). Como resultado foi fabricado e homologado uma pequena turbina a gás “uma pequena turbina a gás, concebida para ser utilizada como unidade aerotransportável para partida (em solo) da aeronave AT-26 Xavante, da Embraer (IAE, 2009)” (CGEE, 2010, p. 16). Entretanto, mesmo diante do sucesso na operação, o combustível apresentou baixa densidade energética para a maior parte das aeronaves, o que leva a importância de sucessivas pesquisas. É importante ressaltar a importância de políticas públicas para os avanços de biocombustível, muitos dos países que aderiram ao uso do etanol e biodiesel contaram com políticas específicas e ativas para redução de incertezas e riscos considerando proteger os consumidores e meio ambiente (FAPESP, 2013).

Portanto, como é possível verificar existem diversas pesquisas em desenvolvimento para criar e implementar o uso de biocombustíveis na aviação e assim, beneficiando o meio ambiente, a sociedade e mesmo as companhias aéreas já que também é buscado a redução de custos que pode agregar positivamente o crescimento e desenvolvimentos de empresas aéreas. No entanto, existem dificuldades para a implementação de tecnologias biocombustível na aviação, assim, no próximo capítulo, na Discussão dos Resultados serão abordadas mais detalhadamente as vantagens e dificuldades dessas tecnologias para a aeronáutica no segmento comercial.

3 APRESENTAÇÃO DE DISCUSSÕES E RESULTADOS

3.1 Tecnologias biocombustível e as características desejáveis para os combustíveis na aviação

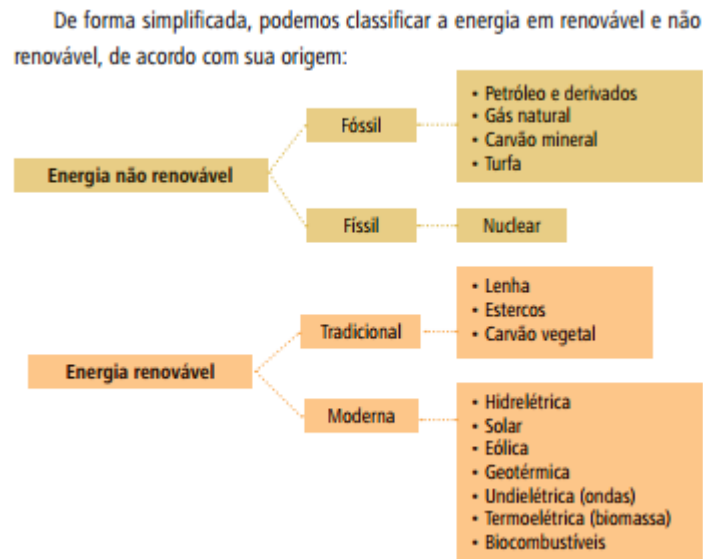
Os estudos sobre o combustível para a aviação nasceu juntamente com a história do voo motorizado. No entanto, inicialmente não existiam muitas possibilidades para diversificação dos combustíveis, visto que as alternativas de propulsores eram escassas, sendo a maior parte das aeronaves equipadas com motores à pistão e abastecidas com gasolina ou produtos similares (CGEE, 2010).

Durante praticamente toda a primeira metade do século passado, os propulsores aeronáuticos foram basicamente motores a pistão radiais e em linha, sempre a gasolina. Nesse período, particularmente com a evolução dos aviões imposta pelas guerras, foi necessária a formulação de gasolinas mais especializadas para utilização nos motores aeronáuticos, diferenciadas da gasolina automotiva. Assim foram sendo adotadas especificações progressivamente sofisticadas, considerando as crescentes exigências do mercado aeronáutico e impondo em muitos casos o uso de aditivos (CGEE, 2010, p. 9).

Porém, não demorou para que fosse encontrada solução mais adequada e melhor, após a Segunda Guerra Mundial a Alemanha e Inglaterra passaram a investir fortemente em novas tecnologias e nesse processo aperfeiçoaram as turbinas a gás possibilitando o uso da querosene como alternativa mais viável em termos de custo-benefício. Atualmente a maior parte das aeronaves são equipadas com propulsores à turbina de gás, evidenciando as vantagens do combustível a querosene como a ótima relação entre peso/potência e elevado empuxo. Hoje em dia o uso da gasolina é quase obsoleto sendo usado em algumas aeronaves mais leves ou helicópteros com motores à pistão (CGEE, 2010).

Entretanto, a busca por combustíveis que sejam extraídos de fonte renovável vem sendo altamente perseguida por governadores e pesquisadores, entre as motivações para tais pesquisas estão o alto preço do petróleo, a escassez das fontes de combustíveis fósseis e os problemas ambientais que se agravam com a necessidade cada vez mais constante da sociedade em fazer uso dos diversos modais de transporte. Para situar melhor o leitor sobre o que é energia renovável e o que é energia não renovável, a figura 4 mostra a subdivisão entre fontes renováveis e não renováveis de energias:

Figura 4 - Formas de energia e classificação de acordo com sua origem



Fonte: Matos (2012, p. 22).

Sabendo disso ainda existe muito que ser feito para aperfeiçoamento dos combustíveis na aviação de preço, disponibilidade e meio ambiente e assim surgem várias pesquisas para desenvolvimento de biocombustível como, por exemplo, nos citados anteriormente na fundamentação teórica.

Contudo, o segmento aeronáutico ainda não pode usufruir largamente dessas tecnologias, visto que no desenvolvimento desses projetos são identificadas várias barreiras para a produção industrial e/ou implementação na aviação. Dessa forma, é importante que sejam conhecidas as principais características desejáveis, conforme citação abaixo, para combustíveis na aviação, de modo que as pesquisas no desenvolvimento de biocombustíveis sob essas exigências básicas, pois embora as pesquisas para novas tecnologias de combustíveis necessariamente tenham de caminhar junto a pesquisas para desenvolvimento de novas tecnologias para motores, é preciso também buscar adequar o biocombustível a motores e aeronaves já existentes.

Apresentar alta densidade energética: visando dispor de um combustível com peso e volume reduzidos por unidade de energia é importante que o poder calorífico e a densidade sejam elevados.

Permitir potências elevadas: além da densidade energética, no caso dos motores a pistão, a potência fornecida depende da taxa de compressão do motor e da mistura ar/combustível adotada, que se situa próxima à relação ar/combustível estequiométrica. A taxa de compressão é limitada pela octanagem da gasolina, que pode ser aumentada mediante o uso de aditivos.

Apresentar volatilidade adequada: para ser queimado corretamente, o combustível deve estar na forma de vapor, impondo que ele seja facilmente vaporizado. Em outras palavras, o combustível tem que ser volátil, contudo a volatilidade excessiva reduz a segurança no manuseio e pode induzir a formação de vapor nos dutos entre o tanque e o propulsor (vapor-lock). Para assegurar a volatilidade correta, os combustíveis aeronáuticos convencionais, derivados de petróleo, são compostos de misturas de hidrocarbonetos com diferentes temperaturas de ebulição e apresentam uma curva de destilação característica, geralmente iniciando sua vaporização em 30°C e terminando em níveis ao redor a 170°C.

Apresentar baixo ponto de congelamento: para evitar a formação de cristais nos tubos de alimentação e filtros de combustível devido às temperaturas de dezenas de graus abaixo de zero que as aeronaves se expõem (principalmente os tanques de combustível localizados nas asas) quando operam em elevadas altitudes.

Não conter água em solução: na medida em que podem ocorrer separações de fase (água/ combustível) quando a temperatura é reduzida, a presença de água deve ser acompanhada e mantida em níveis mínimos. Observe-se que a água encontrada na gasolina frequentemente resulta de condensação da umidade atmosférica e exige cuidados especiais no armazenamento e transporte.

Ser quimicamente estável e apresentar baixa corrosividade: os combustíveis aeronáuticos eventualmente são armazenados por longos períodos de tempo, devendo manter sua especificação, o que implica em evitar os processos naturais de oxidação e formação de depósitos e gomas que tendem a ocorrer em derivados de petróleo. Do mesmo modo, os combustíveis devem ser compatíveis com os materiais empregados nos motores e turbinas aeronáuticas (CGEE, 2010, p. 10).

Mesmo os atuais combustíveis largamente utilizados no setor da aviação contam com uma série de aditivos para que seja possível chegar com excelência às especificações necessárias como nas exemplificadas anteriormente, entre esses aditivos temos antidetonantes para aumento da octanagem da gasolina, antioxidantes para inibição da formação de peróxidos, dissipadores de cargas eletrostáticas minimizar o risco de explosões, anticorrosivos para inibir a corrosão das partes metálicas e anticoagulantes para evitar a cristalização de cristais no combustível.

Todavia, esses aditivos não podem simplesmente serem agregados aos biocombustíveis, pois em se tratando de energia renovável e sustentável existem questões a serem pensadas como o custo e prazo para a produção de matérias primas, de modo que seja possível suprir a demanda atual como é o caso do biocombustível à base de algas em que os índices de produtividade dos lipídios ficam abaixo do necessário para a produção industrial desse biocombustível. Ou seja, tecnicamente ainda é inviável, visto que os pesquisadores não puderam, por exemplo, desenvolver meios para chegar ao “valor” ideal de lipídios para a produção

industrial do combustível. Para entender melhor a importância e relação dos lipídios com a fabricação do combustível, é importante explicar que:

Um óleo seja ele de origem vegetal, ou animal no seu estado natural não pode ser considerado biodiesel e é difícil utilizá-lo em um motor a diesel moderno devido a sua viscosidade, portanto é comum utilizar-se de um processo químico para a transformação do óleo em biodiesel. Assim, depois de extraídos o máximo de lipídios possíveis, o biodiesel pode ser obtido por diferentes processos, como o craqueamento, a esterificação ou então a transesterificação (DEFANT *et. al.*, 2010). Nessa etapa, os lipídios são submetidos à transesterificação que é o processo mais utilizado dentre os mencionados, obtendo como produto o biocombustível (DEFANT *et. al.*, 2010; SCHALARGEMANN *et. al.*, 2012 *apud* GAMARRA, BADEJO e OLIVEIRA, 2015, p. 10).

Já o biocombustível Green Diesel é uma alternativa que será possivelmente empregada na aviação daqui um curto período de tempo, mas ainda depende da aprovação de sua rota tecnológica para extração dos óleos vegetais extraídos, o que enfatiza mais uma vez a dificuldade na fabricação do biodiesel desde a primeira etapa do processo até sua finalização (CASAGRANDE, 2015).

No caso do combustível à base de etanol, embora seu uso seja aplicado ao consumo energético de transportes, na aviação ainda é inviável visto que os motores das aeronaves ainda dependem de combustíveis líquidos e alta densidade energética para suportar longas horas de voo e autonomia sem aumento do peso e o volume transportado:

Uma idéia do impacto de densidade energética sobre a autonomia de vôo pode ser observada no caso do etanol. Pesquisas indicam que o etanol apresenta consumo 25% maior do que o da gasolina de aviação, na condição de potência máxima. Se o piloto mantiver o avião com a mesma potência usada no motor a gasolina, a diferença cai para 20%. Mas o incremento no consumo pode chegar de 25 a 40% quando o avião está em potência máxima, ou seja, quando está decolando (SILVEIRA, 2006 *apud* CGEE, 2010, p. 6).

De um modo geral, o CGEE (2010, p. 28) destaca os principais desafios a serem superados para a viabilização concreta dos biocombustíveis na aeronáutica:

- A necessidade desses biocombustíveis apresentarem elevada densidade energética (da ordem de 42.8 MJ/kg) e atender a especificações rigorosas de qualidade, como temperaturas de congelamento inferiores a -47°C, com aditivação específica e baixa formação de depósitos nas partes quentes dos propulsores.
- A necessidade dos processos de produção apresentarem bons indicadores de sustentabilidade ambiental, que impõem boas produtividades em termos de litros de combustível por área cultivada, e energia e água consumidos na produção, além de adequados fatores de

mitigação das emissões de GEE em comparação aos combustíveis convencionais. • A necessidade dos produtos finais alcançarem níveis mínimos de competitividade econômica, de modo a não dependerem excessivamente de mecanismos de suporte e subsídios. • A redução do elevado protecionismo existente no mercado de biocombustíveis, equiparados aos demais produtos agrícolas em especial alimentares e sujeitos a altas barreiras tarifárias que promovem produtos ineficientes e dificultam a expansão da comercialização de produtos sustentáveis.

Portanto, é possível concluir que embora alternativas renováveis e sustentáveis para combustíveis sejam promissoras para daqui um curto, médio ou longo prazo e algumas dessas tecnologias já estejam inclusive sendo utilizadas em outros modais de transporte, os motores das aeronaves exigem algumas particularidades que ainda são difíceis de serem alcançadas com êxito, seja por dificuldades técnicas ou mesmo quanto ao custo de produção, o que continua a ser objeto de estudo para pesquisadores, o objetivo é que no futuro o biocombustível seja uma realidade compatível com as necessidades operacionais do setor aeronáutico levando em consideração a relação entre custo-benefício. Pois como será visto no tópico a seguir, existem inúmeros benefícios que podem ser alcançados com o uso do biocombustível, o que valida por completo a busca por novas tecnologias de combustível.

3.2 As vantagens no uso das tecnologias de biocombustível para aviação

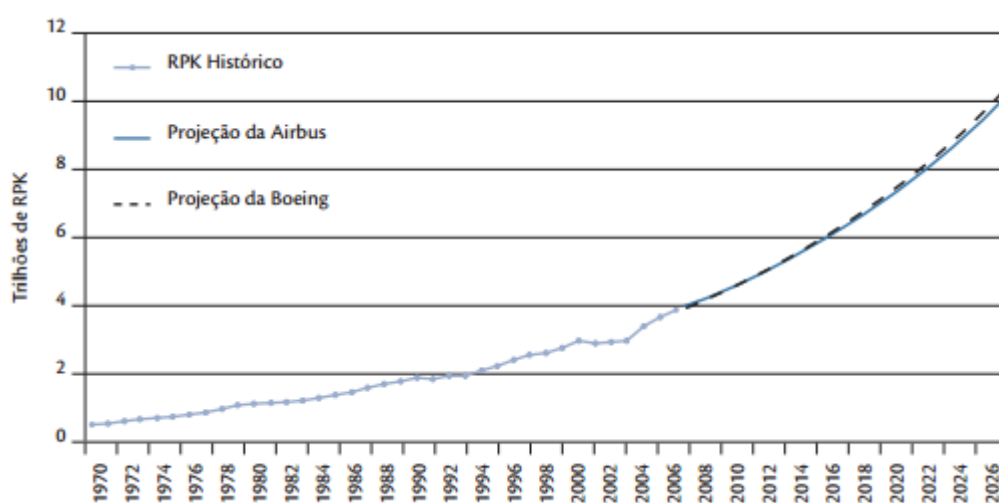
A aviação passou por importantes transformações desde sua origem no século passado, hoje vem se consolidando como um meio de transporte bastante requisitado pela população. No entanto, aquilo que aparentemente é lido como um mero benefício pra sociedade também traz consigo algumas complicações, no caso, a agressão poluente ao meio ambiente que por consequência também prejudica a humanidade.

Para entender melhor o peso dessa problemática somente no ano de 2006 o setor aeronáutico, num nível mundial, consumiu 11% da demanda energética no setor de transportes sendo responsável por 2% da emissão de gases do efeito sendo que é o maior emissor desses gases por unidade de transporte, são aproximadamente 5,5 milhões barris de querosene por dia (CGEE, 2010; IPCC, 2009 *apud* CGEE, 2010). De acordo com um levantamento sobre o cenário da aviação comercial no transporte de passageiros entre os anos de 2013 e 2014 foi concluído que, pelo menos, 30% dos custos de uma companhia aérea são

destinadas à compra de combustível (PARANÁ-ONLINE, 2014 *apud* GAMARRA, BADEJO e OLIVEIRA, 2015).

A tendência óbvia é de que esses números cresçam à medida que o setor aeronáutico toma proporções maiores seja no transporte de cargas ou passageiros conforme aumento da demanda. A figura 5 apresenta a projeção no aumento de demanda por passageiros e cargas, é estimado que haverá 4,9% a mais no número de passageiros transportados e 6,7% de carga transportada ao ano.

Figura 5 - Evolução histórica e projeções da demanda de transporte aéreo, em RPK (*revenue passenger kilometer*)



Fonte: NYGREN (2009 *apud* CGEE, 2010, p. 7).

O gráfico mostra um cenário possível nos próximos nove ou dez anos, ou seja, não levará muito tempo para que a demanda atual cresça expressivamente, o que pede certa urgência para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis.

De acordo a FAPESP (2013, p. 37) uma definição comum de sustentabilidade é:

“atender as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”. É crucial enfrentar os aspectos econômicos, sociais e ambientais da sustentabilidade no desenvolvimento de cadeias de suprimento para biocombustíveis para a aviação. Faz sentido comercial evitar a criação de impactos desnecessários e provocar controvérsias sobre terra, água, condições de trabalho, preços dos alimentos ou desflorestamento, e demonstrar a viabilidade financeira no longo prazo em um mundo que poderá ser dominado pelos efeitos das mudanças climáticas na agricultura.

. Assim, o biocombustível na aviação surge como alternativa importante para uma prática sustentável na execução das atividades no setor.

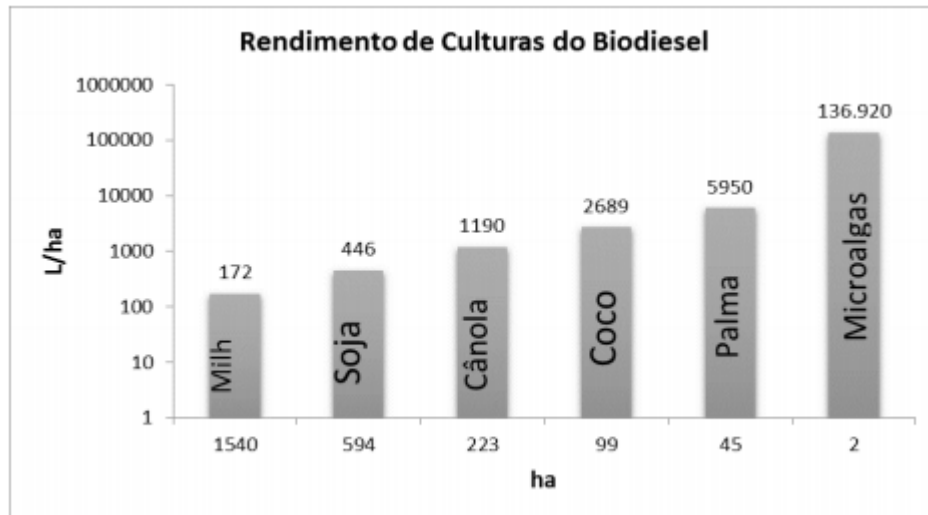
De acordo com a FAPESP (2013) a busca pela energia renovável traz uma série de vantagens se compararmos aos resultados trazidos pelo uso dos combustíveis fósseis convencionais, transformar essa parte do setor é pensar por um viés economicamente verde.

Quando produzido e utilizado de maneira sustentável, o biocombustível pode trazer benefícios ambientais, gerar empregos, estimular a atividade econômica e ampliar a segurança energética. Políticas de biocombustíveis de longo prazo, que integrem os combustíveis para todas as modalidades de transporte motorizado e reconheçam a necessidade particular da aviação de alternativas sustentáveis de combustível, terão de ser estabelecidas para tornar o biocombustível para aviação economicamente viável em razão do custo extra adicional para se produzir um combustível “drop-in” que cumpra as estritas exigências aeronáuticas. As políticas também deveriam habilitar a participação de pequenos agricultores e/ou comunidades locais na cadeia de produção de biocombustíveis para aviação para que eles também possam se beneficiar dessa nova indústria. (FAPESP, 2013, p. 14).

Se compararmos o diesel ao petróleo é possível chegarmos a benefícios sustentáveis tanto do ponto de ambiental como social e econômico. A National Biodiesel Board 22 que é a associação responsável pela indústria de biodiesel nos Estados Unidos revelou que ocorre a redução de 48% de monóxido de carbono, 47% de material particulado e 67% de hidrocarbonetos que o diesel fóssil, esses também são percebidos quando o biodiesel é adicionado ao combustível fóssil, sendo que os efeitos positivos são proporcionalmente elevados conforme o volume acrescentado de biodiesel (MATOS, 2012).

Porém, uma das barreiras encontradas para a produção industrial de biodiesel reside no fato de que muitas das matérias-primas servem a suprir a produção agrícola de alimentos. Nesse caso vale destacar as vantagens sobre algumas das matérias-primas que têm potencial para superar a necessidade de combustíveis verdes como é o caso das microalgas que não são utilizadas na indústria alimentícia ou dependem de solos específicos para cultivo. A figura 6 mostra um “ranking” com algumas culturas importantes quanto ao rendimento anual de biodiesel onde as microalgas apresentam melhor rendimento evidenciado seu potencial sustentável.

Figura 6 - Rendimento Anual de culturas do biodiesel



Fonte: Chisti (2007 *apud* (SILVA, BACHOLSKY e JERÔNIMO, 2015, p. 715).

No caso do etanol como matéria-prima também existe uma série de vantagens como a combustão mais limpa, isso melhora a qualidade das emissões de gás, além disso, o combustível à base de etanol apresenta resistência superior à auto-ignição e detonação quando comparado a outros combustíveis como a gasolina, por exemplo.

A combustão do etanol não gera óxidos de enxofre, já que o etanol é composto apenas por carbono, hidrogênio e oxigênio; as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e, dependendo das características do motor, de óxidos de nitrogênio também são menores que as resultantes da combustão da gasolina (MATOS, 2012, p. 50).

Os benefícios trazidos pelo biodiesel também contemplam o desenvolvimento regional, de geração de emprego e renda, para ter uma ideia, no Brasil:

Foram previstas na lei 11.097/05 a redução das desigualdades regionais e a participação preferencial da agricultura familiar no fornecimento de matérias primas para a fabricação de biodiesel, incentivados pelo Plano Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB). (...) Em 2008, a produção das 29 usinas detentoras do Selo representou 99% do total do biodiesel produzido no Brasil, dos quais 23% foram provenientes da agricultura familiar, o que ainda é pouco se for considerado o lucro resultante para cada uma 97 mil famílias cadastradas no programa, que chega à média a um quarto de salário mínimo por mês. (MATOS, 2012, p. 63).

Em linhas gerais, estima-se que somente no Brasil, a produção do Biodiesel promoveu, pelo menos, 600 mil postos de trabalho desde que começou a ser trabalho no país. Por uma questão lógica, a expansão na produção de

biocombustíveis e seu uso em larga escala no setor aeronáutico tende aumentar esses números fazendo evoluir ainda mais dentro dos objetivos ambientais, sociais e econômicos.

Dessa forma, foi possível verificar que o combustível para uso na aeronáutica depende de uma série de características específicas para que seja possível seu uso e as dificuldades a serem superadas por pesquisadores ainda são inúmeras como apresentado, mas por outro já é possível mensurar sobre os resultados com a implementação dos biocombustíveis no setor aeronáutico o que evidencia ainda mais a importância que tem sido dada a pesquisadores para criar combustíveis de fontes renováveis capaz de agregar valor ambiental, social e econômico.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme estudo realizado a história da aviação evoluiu consideravelmente nos últimos cem anos ou pouco mais e o que trouxe a consolidação do setor como um importante modal de transporte para passageiros e também de cargas. No entanto, ao passo que as atividades aéreas comerciais cresceram, seus efeitos negativos sobre o meio ambiente também foram intensificados e com isso vários conflitos surgiram. Dessa forma, hoje a busca por combustíveis de fontes renováveis é bastante almejada por pesquisadores e governantes. Com isso, vários biocombustíveis têm sido estudados e testados para compor uma nova realidade no segmento aeronáutico.

Entre as motivações para urgência na substituição dos atuais combustíveis provenientes de fósseis é destacável a escassez das fontes fósseis, o alto preço do petróleo e os impactos ambientais que têm prejudicado o meio ambiente a uma velocidade considerável. Além disso, na situação atual os combustíveis usados na aviação já representam 2% da emissão de gases, a média é de que são utilizados 5,5 milhões barris de querosene por dia em todo o mundo somente no setor aeronáutico. Ao levar em consideração a estimativa de crescimento do setor no transporte de pessoas e cargas para os próximos anos, o consumo de combustível fóssil aumentará a um nível elevado potencializando os conflitos já existentes.

Durante, o desenvolvimento dessa pesquisa vários tipos de biocombustíveis foram encontrados em fase de pesquisas, onde foram mencionados três tipos sendo o combustível feito a partir de algas, etanol e o Green Diesel, porém nenhum deles ainda foi capaz de preencher todas as necessidades do setor como aquelas relacionadas ao preço, disponibilidade, meio ambiente e viabilidade operacional.

Assim, muitos avanços já foram alcançados na aviação desde sua origem como o próprio uso do querosene para combustível, mas a atual situação ambiental no mundo com alterações climáticas que prejudicam o meio ambiente e a sociedade, o que valida a importância de pesquisas que sejam capazes de suprir a alta demanda projetada para o futuro sem que a sociedade seja comprometida. Por fim, sugiro como tema para pesquisas futuras a relação das incompatibilidades entre os motores que equipam as aeronaves e os biocombustíveis do futuro, pois acredito que a busca por compreender as barreiras existentes entre e um outro serve a fundamentar respostas de solução para esses aspectos.

REFERÊNCIAS

BARBIERI *et. al.* **Relatório de Acompanhamento Setorial Indústria Aeronáutica.** Relatório de Acompanhamento Setorial. V. I. UNICAMP; ABID: Março/2008. Disponível em:
<<http://www.abdi.com.br/Estudo/Aeron%C3%A1utico%20-%20mar%C3%A7o08.pdf>>
Acesso em: set./2016.

BNDES. **Bioetanol de cana-de-açúcar:** energia para o desenvolvimento sustentável. Organização BNDES e CGEE. – Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

CASAGRANDE, V. **Os desafios dos biocombustíveis.** AERO Magazine: 2015. Disponível em:
<http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/os-desafios-dos-biocombustiveis_2115.html>
Acesso em: out./2016.

CASTILHOS, W. **Biodiesel feito de algas.** FAPESP: 2008. Disponível em:
<<http://www.seriesonlinehd.org/assistir-black-mirror-dublado-e-legendado-online/>>
Acesso em: out./2016.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Biocombustíveis aeronáuticos: progressos e desafios** – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. Disponível em:
<https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/biocombustiveis_aeronauticos_24012011_9559.pdf> Acesso em: set./2016.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS – CNPEM. **A aviação brasileira na rota do biocombustível.** Regenary Observatory: 2016. Disponível em: <<http://cnpem.br/a-aviacao-brasileira-na-rota-do-biocombustivel/>>
Acesso em: out./2016.

ÉPOCA NEGÓCIOS. **Diesel verde ganha espaço nos Estados Unidos.** Época: 2014. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Caminhos-para-o-futuro/Energia/noticia/2014/11/diesel-verde-ganha-espaco-nos-estados-unidos.html>>
Acesso em: out./2016.

FAJER, M. **Sistemas de investigação dos acidentes aeronáuticos da aviação geral** – uma análise comparativa. 2009. 159 pp. Dissertação (Pós Graduação em Saúde Pública, Saúde do Trabalhador para obtenção do título de Mestre em Saúde Pública). Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, São Paulo.

FAPESP. **Plano de voo para biocombustíveis de aviação no Brasil: Plano de Ação.** Boeing/Embraer/ FAPESP e UNICAMP, 2013. Disponível em:
<<http://www.fapesp.br/publicacoes/plano-de-voo-biocombustiveis-brasil-pt.pdf?x=2>>
Acesso em: out./2016.

GAMARRA, J. T. BADEJO, M. S. OLIVEIRA, A. M. F. **Trajetórias Tecnológicas para a aviação:** o caso das algas. Altec. Porto Alegre: RS, 2015. Disponível em:

<<http://docplayer.com.br/10358900-Palavras-chave-trajetorias-tecnologicas-biocombustiveis-aviacao-e-algas.html>> Acesso em: out./2016.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, T. D. **Métodos de Pesquisa**. Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em:

<<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>
Acesso em: out./2016.

GOMES, S. B. V. **A indústria aeronáutica no Brasil: evolução recente e perspectivas**. BNDES: 2011. Disponível em:

<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/919/4/A%20ind%C3%BAstria%20aeron%C3%A1utica%20no%20Brasil_P-final_BD.pdf> Acesso em: set./2016.

GONÇALVES, F. dos R.; BORGES, L. E. P.; FRAGA, A. M. **Combustível de aviação: perspectivas e futuro**. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, 3 trimestre – 2011. Disponível em:

<http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_3_tri_2011/RMCT_059_E5A_11.pdf> Acesso em: set./2016.

MATOS, C. R. A. **Etanol e Biodiesel**. Secretaria do Meio Ambiente/ Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais. Etanol e Biodiesel. São Paulo: SMA, 2012.

Disponível em: < <http://www.ambiente.sp.gov.br/publicacoes/files/2013/04/11-etanol-biodiesel-2012.pdf>> Acesso em: out./2016.

PETROBRÁS. **Querosene de Aviação: Informações Técnicas**. 2014. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/QAV-Informa%C3%A7%C3%B5es-T%C3%A9cnicas-v.1.3-29.pdf>> Acesso em: set./2016.

SILVA, R. M. D.; BACHOLSKY, R. G.; JERÔNIMO, C. H. de M. **Produção de Biodiesel por Algas: Integração com Processos de Carcinicultura**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 3, set-dez. 2015, p. 713-724. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM ISSN : 22361170.

ANEXO – TERMO DE CESSÃO DE DIREITOS AUTORAIS



UNISUL
Universidade do Sul de Santa Catarina
Secretaria Executiva da Fundação Unisul,
Pró-Reitoria de Administração Acadêmica e Pró-Reitoria de Ensino

TERMO DE CESSÃO DE DIREITOS AUTORAIS

A FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA – UNISUL, doravante denominada somente FUNDAÇÃO UNISUL, e

doravante denominado somente AUTOR da obra caracterizada como Trabalho de Conclusão de Curso, com o título:

O Futuro do Combustível na Aviação

têm justo e acertado o presente Termo que se regerá pelas cláusulas descritas a seguir:

CLÁUSULA PRIMEIRA

O objeto do presente Contrato é a cessão total da obra, a título gratuito, para reprodução, distribuição e disponibilização, pela FUNDAÇÃO UNISUL, em qualquer forma ou meio existente podendo para tanto, utilizá-la junto à internet, jornais e todos os meios de comunicação e mídia, públicos ou privados.

Parágrafo Primeiro. A UNISUL poderá disponibilizar a obra no todo ou em partes, para fins didáticos, desde que não altere seu conteúdo.

Parágrafo Segundo. A presente cessão é feita para todos os países, em língua portuguesa ou tradução, a critério da FUNDAÇÃO UNISUL.

CLÁUSULA SEGUNDA

O AUTOR declara que a obra, objeto deste Termo é de sua autoria, responsabilizando-se pelo seu conteúdo e forma, citações, referências e demais elementos que a integram, sendo entregue no ato da assinatura do presente com todo seu conteúdo textual já revisado gramaticalmente e metodologicamente. Desta forma, quaisquer medidas judiciais ou extrajudiciais concernentes ao conteúdo serão de sua responsabilidade.

CLÁUSULA TERCEIRA

O AUTOR compromete-se a responder por todos e quaisquer danos causados direta ou indiretamente à FUNDAÇÃO UNISUL e a terceiros, em decorrência da violação de quaisquer direitos, inclusive de propriedade intelectual, devendo o AUTOR se sub-rogar em toda e qualquer obrigação ou ônus opostos em face desta.

Parágrafo Primeiro. O AUTOR responsabiliza-se pessoalmente pelo ineditismo da obra, exonerando a FUNDAÇÃO UNISUL de toda e qualquer responsabilidade por eventuais cópias ou plágios, sendo dever do AUTOR indenizar a FUNDAÇÃO UNISUL caso esta seja prejudicada por medidas judiciais ou extrajudiciais relacionadas ao conteúdo.

Parágrafo Segundo. O AUTOR responde civil e penalmente por qualquer reclamação de terceiros em relação à autoria do trabalho elaborado.

CLÁUSULA QUARTA

O AUTOR, nos termos do art. 49 e os seguintes da Lei 9.610, cede à obra objeto deste Termo em caráter definitivo e sem limite de tempo, pelo AUTOR, seus herdeiros e sucessores.

CLÁUSULA QUINTA

Os originais serão entregues prontos e acabados pelo meio ou na forma que a FUNDAÇÃO UNISUL indicar.

CLÁUSULA SEXTA

A CESSÃO aqui pactuada é realizada a título gratuito, uma vez que a FUNDAÇÃO UNISUL também disponibiliza em qualquer forma ou meio a obra gratuitamente.

CLÁUSULA SÉTIMA

As partes elegem o foro da comarca de Tubarão/SC e renunciam a qualquer outro, por mais privilegiado que seja.

E por estarem assim justos e acertados, firmam o presente em duas vias de igual teor para que surta seus jurídicos efeitos.

Tubarão/SC, 5 de dezembro de 2016.

Assinatura do Autor

Assinatura da Fundação Unisul

Testemunhas:

Nome:
CPF:

Nome:
CPF:

