

SÉRIE DOCUMENTOS TÉCNICOS

NOVEMBRO 2010 - Nº 08



Biocombustíveis aeronáuticos

Progressos e desafios



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



Biocombustíveis aeronáuticos

Progressos e desafios

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Organização Social supervisionada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) é uma associação civil sem fins lucrativos e de interesse público, qualificada como Organização Social pelo executivo brasileiro, sob a supervisão do Ministério da Ciência e Tecnologia. Constitui-se em instituição de referência para o suporte contínuo de processos de tomada de decisão sobre políticas e programas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). A atuação do Centro está concentrada nas áreas de prospecção, avaliação estratégica, informação e difusão do conhecimento.

PRESIDENTA

Lucia Carvalho Pinto de Melo

DIRETOR EXECUTIVO

Marcio de Miranda Santos

DIRETORES

Antônio Carlos Filgueira Galvão

Fernando Cosme Rizzo Assunção

EDIÇÃO E REVISÃO | *Tatiana de Carvalho Pires*

DESIGN GRÁFICO | *Eduardo Oliveira*

DIAGRAMAÇÃO | *Camila Maia*

C389b

Biocombustíveis aeronáuticos: progressos e desafios – Brasília:
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

p; il, 21 cm (Série Documentos Técnicos, 8)

1. Combustível. 2. Etanol. 3. Aplicações aeronáuticas. I. CGEE.
II. Título.

CDU 665.733.3

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
SCN Qd 2, Bl. A, Ed. Corporate Financial Center sala 1102
70712-900, Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cgee.org.br>

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do 2º Contrato de Gestão CGEE – 1º Termo Aditivo /Ação: Nota Técnica – 53.5.1/MCT/2010.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.

Sugestão de citação: CGEE, título, autoria, ano de publicação, CGEE: Brasília.

Impresso em 2010.



Biocombustíveis aeronáuticos

Progressos e desafios

SUPERVISÃO

Marcio de Miranda Santos

CONSULTORES

Luiz Augusto Horta Nogueira
Edson Sousa Palhares

EQUIPE TÉCNICA DO CGEE

Marcelo Khaled Poppe
Mayra Juruá G. Oliveira
Olivia Felício Pereira



cgEE

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO | 6 |
| COMBUSTÍVEIS AERONÁUTICOS: EVOLUÇÃO E ESPECIFICAÇÃO | 9 |
| BIOCOMBUSTÍVEIS AERONÁUTICOS: MOTIVAÇÃO E PROCESSOS DE PRODUÇÃO | 14 |
| Etanol para aplicações aeronáuticas | 14 |
| Biocombustíveis para turbinas aeronáuticas | 15 |
| Atividades recentes em biocombustíveis aeronáuticos | 22 |
| Perspectivas para os biocombustíveis aeronáuticos | 27 |



APRESENTAÇÃO

A preocupação mundial sobre mudanças climáticas e a incerteza de abastecimento de petróleo têm levado a uma crescente demanda por fontes renováveis de energia. Este Documento Técnico, produzido pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) trata dos biocombustíveis aeronáuticos, uma alternativa complementar em combustíveis de aviação. Nesse contexto, são aqui apresentados a sua evolução, especificação, projetos e programas recentes no Brasil e no exterior, bem como as perspectivas e desafios tecnológicos e econômicos para o uso efetivo desse combustível alternativo.

Diversas fontes de matéria-prima têm sido consideradas, na sua produção como as palmáceas e cultivos inovadores de espécies oleaginosas, e entre os processos de conversão têm se destacado até o momento as rotas termoquímicas, que permitem uma boa adequação das propriedades do produtos às exigências para as aplicações aeronáuticas. A médio prazo, as rotas de produção de hidrocarbonetos mediante processos bioquímicos de transformação de açúcares podem se mostrar mais competitivas.

Entre os desafios que deverão ser enfrentados para a concreta viabilização dos biocombustíveis aeronáuticos, incluindo o desenvolvimento de um mercado internacional, podem-se destacar as seguintes necessidades: apresentar elevada densidade energética e atender a especificações rigorosas de qualidade; apresentar bons indicadores de sustentabilidade ambiental; alcançar níveis mínimos de competitividade econômica; e finalmente reduzir o elevado protecionismo existente no mercado de biocombustíveis.

A possibilidade de que seja adotada a cobrança de uma taxa associada às emissões de carbono fóssil nas viagens aéreas tende a sinalizar um aumento no custo de operação das empresas aéreas e pode ser um fator importante para promover a superação desses desafios.



INTRODUÇÃO

A preocupação mundial com as mudanças climáticas, associadas em grande medida ao uso de combustíveis fósseis, à volatilidade dos preços e às incertezas no abastecimento de petróleo, realizado majoritariamente a partir de regiões politicamente instáveis, têm motivado um crescente interesse por fontes renováveis de energia, em particular na forma de biocombustíveis. Atualmente, cerca de 2% do consumo energético no setor de transporte é atendido com combustíveis renováveis derivados de biomassa, como o etanol e o biodiesel.

Esse quadro se estende também ao transporte aéreo, que apresenta poucas alternativas aos combustíveis convencionais devido à sua dependência de combustíveis líquidos com alta densidade energética, que permitam longas autonomias de voo sem aumentar o peso e o volume a ser transportado¹. Nos últimos anos, esse setor tem se movimentado de forma intensa na busca de opções energéticas, em um esforço que envolve empresas energéticas, indústria aeronáutica, empresas aéreas e órgãos governamentais, evidenciando a importância desse tema.

O consumo de combustível nas aeronaves em todo o mundo respondeu por aproximadamente 11% da demanda energética no setor de transporte em 2006, contribuindo com 2% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) e se constituindo no maior emissor desses gases por unidade de transporte realizado (IPCC, 2009). A demanda global de querosene de aviação está ao redor de 5,5 milhões de barris por dia (mbpd), significando cerca de 6,3% da produção das refinarias, sendo que 68% dessa demanda (3,76 mbpd) ocorre nos países da OCDE (IEA, 2010).

O crescimento do transporte aéreo de carga e passageiros tem sido significativo e mesmo com os ganhos possíveis de eficiência energética, estimados entre 30 a 50%², a demanda de combustíveis aeronáuticos tende a se expandir, com perspectivas de dobrar ou triplicar até 2050 (IEA, 2009).

- ¹ Uma idéia do impacto de densidade energética sobre a autonomia de voo 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).
- ² Entre as medidas capazes de aumentar a eficiência do transporte aéreo são citadas o aperfeiçoamento da aerodinâmica e a redução do peso dos aviões, a melhoria dos propulsores e a adoção de melhores práticas de gestão do tráfego aéreo e dos aeroportos.



Uma projeção da demanda de transporte aeronáutico para os próximos anos é apresentada na Figura 1, desenvolvida no âmbito de um estudo das perspectivas do mercado de combustíveis para esse setor, elaborada a partir das estimativas dos principais fabricantes de aviões e se alinhando com a tendência histórica, com crescimento de aproximadamente 4,9% ao ano no número de passageiros transportados e de 6,7% ao ano no volume de carga transportada. A observação dessa curva e considerações adicionais de ganhos de eficiência nos equipamentos e na operação permitiram inferir os cenários indicados na Figura 2, que foram considerados os mais prováveis entre os diversos cenários explorados e evidenciam as perspectivas de dificuldades crescentes para o atendimento da demanda, em prazos relativamente curtos (NYGREN, 2009).

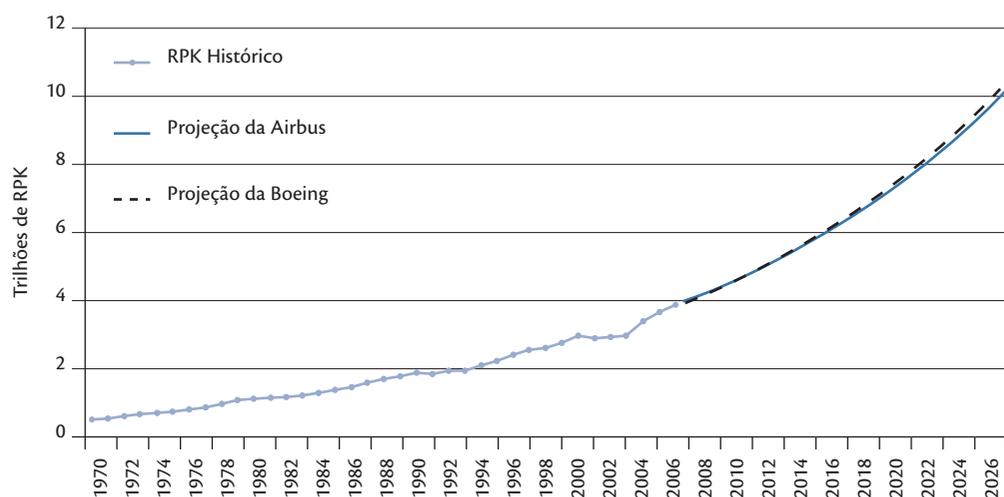


Figura 1: Evolução histórica e projeções da demanda de transporte aéreo, em RPK (*revenue passenger kilometer*) (NYGREN, 2009)

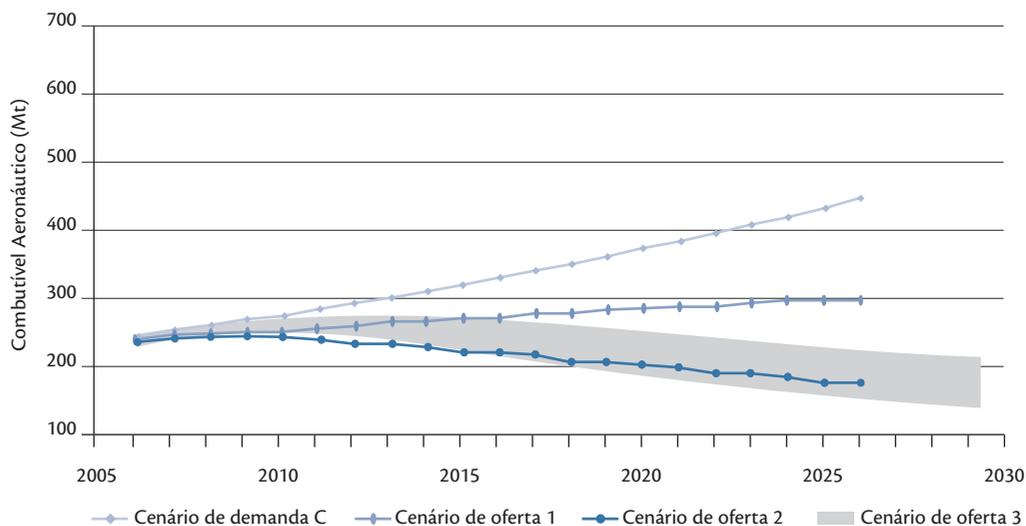


Figura 2: Cenários de demanda (considerando 3% de crescimento anual) e oferta de combustíveis aeronáuticos (NYGREN, 2009)

Possivelmente os biocombustíveis são a única alternativa disponível de imediato para a indústria da aviação progressivamente adotar formas mais sustentáveis de abastecimento energético. Nesse sentido, a reconhecida capacidade brasileira para desenvolver e implementar tecnologias bioenergéticas, associada à existência de uma indústria aeronáutica nacional e de diversas companhias de transporte aéreo, fazem do Brasil um espaço privilegiado para avançar no desenvolvimento dos biocombustíveis aeronáuticos. Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Biocombustíveis e Gás Natural (ANP), a demanda de querosene de aviação em 2009 foi de 5.428 mil metros cúbicos, (m³) dos quais 4.380 mil m³ (81%) foram produzidos pela refinarias brasileiras e o restante foi importado de diversos países (ANP, 2010). Para efeito de comparação, essa demanda corresponde a 123% da capacidade instalada de produção de biodiesel existente no país no final em 2009, que é de 4.392 mil m³ por ano, e cuja produção foi de 1.608 mil metros cúbicos desse biocombustível nesse ano (ANP, 2010),

Esse tema certamente desperta interesse além das fronteiras nacionais: segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), os biocombustíveis poderão responder por 30% do consumo energético no transporte aéreo em 2050 (IEA, 2009).



COMBUSTÍVEIS AERONÁUTICOS: EVOLUÇÃO E ESPECIFICAÇÃO

A história dos combustíveis de aviação é tão antiga quanto o voo motorizado. Consta que Santos Dumont, contrariando a opinião predominante de que seria muito arriscado utilizar motores a combustão próximos a balões de hidrogênio, empregou com sucesso pequenos motores a gasolina em seus primeiros dirigíveis e posteriormente em seus aeroplanos. De fato, os idealizadores das primeiras aeronaves não tinham muitas opções de propulsores e os motores a pistão, desenvolvendo o ciclo Otto, consumindo gasolina ou produtos similares eram praticamente a única alternativa³.

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.

Como um marco importante na história do transporte aéreo, após a Segunda Guerra, a partir de esforços simultâneos na Inglaterra e Alemanha, a turbina a gás foi aperfeiçoada a ponto de ser adotada em aplicações aeronáuticas. Utilizando um novo combustível, o querosene de aviação, esse acionador apresenta como vantagens destacadas uma excelente relação peso/potência e elevado empuxo. Em suas várias versões (jato puro, turbofan, propfan), as turbinas a gás são atualmente os propulsores mais adotados em aeronaves, inclusive nos modernos helicópteros, restringindo-se o uso da gasolina de aviação aos aviões leves e antigos helicópteros com motores a pistão.

3 Pode ser feito aqui um comentário interessante: um dos autores dessa nota, durante um curso de máquinas térmicas ministrado na Unifei, teve acesso através de um aluno ao relatório preparado por um oficial do Exército brasileiro durante os anos vinte, resultado de uma missão à Europa para avaliar as perspectivas da aviação e particularmente verificar qual seria o combustível que seria empregado. Nesse documento manuscrito consta que, após visitas e consultas a fabricantes na França, Inglaterra e Itália, foi possível formar a convicção de que a aviação seria efetivamente importante e que os futuros aviões, de grande porte, seriam possivelmente propelidos por turbinas a vapor produzido por caldeiras a carvão, com os condensadores localizados nas asas dos biplanos ou triplanos. Também como uma observação, em um dos corredores no então Laboratório de Motores do Centro Tecnológico de Aeronáutica, durante os anos setenta, se exibia como curiosidade um antigo motor aeronáutico a diesel. Estes registros servem para mostrar como a definição do ciclo térmico de potência e o combustível a ser empregado no transporte aéreo não foi um processo trivial.



De um modo geral, além atender aos condicionantes econômicos de preço e disponibilidade, algumas das características desejáveis para os combustíveis aeronáuticos são:

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 altitudes⁴.

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

⁴ As propriedades referentes ao escoamento de um combustível a baixas temperaturas são usualmente fornecidas, alternativamente, pelos seguintes ensaios normalizados: 1) ponto de névoa (*cloud point*), quando os cristais de parafina começam a ser visíveis, 2) ponto de fluidez ou de escoamento (*pour point*), 3) ponto de entupimento de filtro a frio (*cold filter plugging point*), 4) teste de escoamento a baixa temperatura (*Low-Temperature Flow Test*), e 5) ponto de congelamento (*freezing point*)



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.

Para alcançar a especificação desejada, atendendo as exigências de desempenho, transporte, armazenamento e segurança, os combustíveis aeronáuticos usualmente recebem aditivos. Tais produtos, em teores reduzidos, normalmente mensuráveis em partes por milhão, fornecem qualidades melhoradas ou especiais, devendo ter sua composição e quantidade máxima a ser adicionada sujeita a aprovação e controle. Apresenta-se, a seguir, exemplos dos principais aditivos utilizados em combustíveis aeronáuticos (adaptado de SILVEIRA, 2006):

antidetonantes: aumentam a octanagem da gasolina e, possibilitam seu uso em motores a pistão com taxas de compressão mais altas. Em geral, é utilizado o chumbo tetraetila.

antioxidantes: inibem a formação de peróxidos, que podem ser precursores de gomas e depósitos.

dissipadores de cargas eletrostáticas: evitam o risco de explosão na hora do abastecimento, pois durante o voo a aeronave está em constante fricção com o ar, ficando carregada de eletricidade eletrostática, que pode dar origem a pequenas descargas elétricas, fonte de risco de incêndios e explosões.

anticorrosivos: inibem a corrosão das partes metálicas do sistema de alimentação e dos tanques de combustível.

anticongelantes: reduzem a temperatura em que se formam os primeiros cristais no combustível.

No Brasil são comercializados dois combustíveis aeronáuticos derivados de petróleo: a gasolina de aviação, utilizada nos motores de pistão e o querosene de aviação, empregado nas turbinas aeronáuticas.

A gasolina de aviação apresenta alto índice de desempenho⁵, além de outras características especiais para o uso aeronáutico. Quimicamente, é uma mistura de hidrocarbonetos predominantemente de 5 a 10 átomos de carbono, em geral obtida por processos desenvolvidos para produção de compostos com alto número de octano tais como: reforma catalítica, isomerização, polimerização e alquilação. No Brasil, a gasolina de aviação é produzida apenas na Refinaria

⁵ O Índice de Desempenho é usado para gasolinas com alta resistência à detonação. Em condições normais, o Número de Octano de uma gasolina automotiva é dado pela porcentagem de iso-octano em uma mistura com n-heptano que se comporta de forma análoga a essa gasolina no ensaio de detonação em um motor CFR (equipamento padrão para esse ensaio). Como a gasolina de aviação apresenta octanagem acima do iso-octano puro (produto com Número de Octano igual a 100), são usadas correlações para determinar sua resistência à detonação, que nesse caso é denominada Índice de Desempenho (GUIBET, 1997).



Presidente Bernardes, em Cubatão, o que impõe uma logística complexa para atender adequadamente o mercado nacional.

Internacionalmente, a gasolina de aviação de melhor qualidade e mais utilizada é classificada como AVGAS 100LL (100 low lead), apresentando um teor de chumbo inferior às especificações anteriores. Em 2009, a ANP revisou a especificação da gasolina de aviação brasileira e editou a Resolução 5, com o Regulamento Técnico com as normas técnicas ABNT e ASTM a serem utilizadas na determinação das propriedades e os limites a serem considerados, como apresentado no Anexo 1. Conforme esse regulamento, esse combustível é denominado GAV 100 LL, deve apresentar a cor azul, com um ponto final de ebulição (PFE) inferior a 170°C, Índice de Desempenho superior a 130, teor de chumbo inferior a 0,56 gPb/litro e ponto de congelamento inferior a -58°C.

Com componentes mais pesados do que a gasolina, contendo entre 9 a 16 átomos de carbono, o querosene de aviação corresponde à fração de produtos destilados do petróleo bruto em sua maior parte entre 150 e 290°C, constituído de hidrocarbonetos alifáticos, naftênicos e aromáticos, com um ponto de inflamação que oferece mais segurança que a gasolina e bastante adequado para uso em turbinas a gás. Na língua inglesa, o querosene de aviação é chamado de Jet Fuel. Também em 2009, a ANP revisou a especificação desse combustível, editando a Resolução 37, cujo Regulamento Técnico, de modo análogo à gasolina de aviação apresenta as características, os limites e os métodos a serem observados, conforme o Anexo 2, agrupadas em aparência, composição, volatilidade, fluidez, combustão, corrosão, estabilidade, contaminantes, condutividade e lubrificidade. Assim, de acordo com esse regulamento, o querosene de aviação, conhecido internacionalmente JET A-1, é denominado QAV-1 no Brasil, devendo apresentar, entre outras propriedades, um teor máximo de 1 mg/litro de partículas contaminantes, 10% dos produtos destilados até 205°C, ponto final de ebulição de 300°C, ponto de congelamento de -47°C, com a definição de teores máximos para os aditivos antioxidante, desativadores de metal, dissipador de cargas elétricas, inibidor de formação de gelo, detector de vazamento e melhorador de lubrificidade.

Essas especificações são essencialmente similares às especificações adotadas em outros países, na medida em que existe um intenso tráfego aéreo internacional e as aeronaves de diferentes países são abastecidas regularmente nos aeroportos brasileiros, sem restrições. Nesse sentido, é importante observar que a eventual adoção de um combustível aeronáutico com uma especificação diferente no Brasil, de forma generalizada e especialmente no caso do QAV, mesmo que seja em termos de teores e tipo de aditivos, causa preocupação e requer cautela, na medida em que deve ser exaustivamente comprovado não apenas o desempenho adequado do novo combus-



tível nas aeronaves, como também sua efetiva compatibilidade em misturas com o combustível em uso⁶, já que alguma mescla sempre deverá ocorrer nos tanques das aeronaves que vierem de outros países e sejam reabastecidas em aeroportos nacionais.

6 A harmonização das especificações de combustíveis aeronáuticos, em especial do querosene de aviação, em consonância às especificações internacionais é uma questão muito relevante para as empresas de transporte aéreo e fabricantes de aeronaves, que procuram garantir que os requisitos de qualidade desse produto sejam observados nos diversos países. Como um exemplo importante dos esforços nessa direção, em abril de 2000 a ANP, com o apoio da Petrobras, Varig, Esso, Shell, Embraer, PAC (Petroleum Analyzer Company), MCA Indústria Mecânica, ARPEL (Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe), Infraero e IBP (Instituto Brasileiro do Petróleo), promoveu o Seminário Internacional de Querosene de Aviação, com o objetivo de coordenar os trabalhos de atualização da especificação desse combustível no âmbito do Mercosul com as atividades similares desenvolvidas em escala internacional pelo International Civil Specification Liaison Group, (ICSLG).



BIOCOMBUSTÍVEIS AERONÁUTICOS: MOTIVAÇÃO E PROCESSOS DE PRODUÇÃO

Neste tópico são apresentados os biocombustíveis com possibilidades de uso aeronáutico, procurando avaliar os fatores que têm induzido sua produção e comentando suas perspectivas tecnológicas. Inicialmente é analisado de modo sucinto o emprego do etanol como sucedâneo da gasolina de aviação, que já se encontra em uso regular por um grande número de aeronaves. Como a tecnologia de produção de etanol de cana-de-açúcar está dominada e embora apresente possibilidades interessantes de incorporar inovações, não depende desses aperfeiçoamentos para viabilizar seu uso em aviões, os aspectos referentes à sua produção não serão comentados nessa nota.

Em seguida ao etanol, analisam-se os biocombustíveis para turbinas a gás, abordando-se em maior detalhe as matérias-primas e os processos de produção dos possíveis substitutos para o querosene de aviação, objeto da quase totalidade de projetos de estudos e pesquisas atualmente em curso em diversos países com o propósito de implementar o uso da bioenergia no transporte aéreo.

Etanol para aplicações aeronáuticas⁷

O uso de etanol hidratado como combustível aeronáutico é uma realidade comum no interior do Brasil, que confirma a adequação e o desempenho desse combustível em motores alternativos. Desde 2005, depois de dois anos de desenvolvimento, a Embraer (através de sua subsidiária Indústria Aeronáutica Neiva) produz o Ipanema, um avião agrícola especificamente preparado e regularmente homologado para utilizar etanol hidratado⁸, bem como fornece kits para con-

⁷ Este tópico está essencialmente baseado no box “O etanol em motores aeronáuticos”, apresentado no Cap.2 do livro Bio-etanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável (BNDES, 2008).

⁸ A homologação do Ipanema a etanol hidratado ocorreu em outubro de 2004, resultado de investimentos de R\$ 2,2 milhões no desenvolvimento e na certificação, processo que consumiu 350 horas de ensaios em bancada e 300 horas em voo e no solo (*Scientific American*, 2006).



versão de aviões agrícolas a gasolina para etanol (SILVEIRA, 2006). Atualmente, 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 (NEIVA EMBRAER, 2008), motivando o surgimento de empresas especializadas em converter e homologar aviões de pequeno porte para o uso desse biocombustível (AEROÁLCOOL, 2008).

Nos Estados Unidos, desde 1980 são conduzidas experiências com etanol em aviões: em 1989, a Federal Aviation Administration (FAA) certificou, pela primeira vez, um motor aeronáutico para etanol (Lycoming IO-540, injetado) e, nos anos seguintes, certificou outro motor (Lycoming O-235, carburado) e dois modelos de aviões, o Cessna 152 e o Piper Pawnee (avião agrícola), para o uso de etanol anidro com 5% de gasolina (E95) (BIAS, 2006).

Apenas como um registro dos esforços desenvolvidos durante os anos 1980 para a introdução de biocombustíveis na matriz energética brasileira; em 1976, o professor João Roberto Barbosa e sua equipe desenvolveram, fabricaram e homologaram, no Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA), 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)⁹. Experimentalmente, essa turbina operou com etanol com sucesso, entretanto, por sua baixa densidade energética, o etanol apresenta limitadas perspectivas para substituir o querosene de aviação.

Biocombustíveis para turbinas aeronáuticas

Em 1977, pesquisadores do Núcleo de Fontes Não Convencionais de Energia, da Universidade Federal do Ceará, liderados pelo professor Expedito Parente, propuseram a produção de um sucedâneo renovável do querosene de aviação, que denominaram Prosene, mediante a transesterificação de óleos vegetais, processo hoje amplamente utilizado no Brasil para a fabricação de biodiesel. Naquela oportunidade foi construída uma planta piloto com capacidade de mil litros

⁹ Recentemente surgiram notícias de que um grupo de engenheiros do CTA havia desenvolvido uma turbina a gás para 3,5 kN de empuxo que teria operado a etanol, entretanto não foi possível confirmar essa notícia.



por dia e foram testadas diversas matérias-primas, como óleos de soja, de babaçu, de amendoim, de algodão, de colza, de girassol, de dendê, entre outros, bem como foi ajustada a especificação do produto final. No final de 1982, o “querosene vegetal” para aviões a jato foi considerado pronto e tiveram início os testes em turbinas em bancada no CTA, em São José dos Campos, cujos resultados levaram à homologação do Prosene. No dia 23 de outubro de 1983, Dia do Aviador, um turbohélice “Bandeirante”, abastecido com o Prosene, decolou de São José dos Campos e sobrevoou Brasília, comprovando pioneiramente a possibilidade de utilizar biocombustíveis em modernos propulsores.

Durante os testes foi constatada uma compreensível perda de potência da aeronave, da ordem de 10%, devida ao menor conteúdo energético do Prosene frente ao querosene de aviação (SIMÕES, 2004). Outro problema tecnológico relatado foi a menor estabilidade térmica do biocombustível, o que poderia ser resolvido com uso de aditivos (CTA, 2002). Com a retração dos preços do petróleo a partir de 1985, esse projeto foi descontinuado, mas sua concepção permanece vigente nas propostas recentes de produzir um biocombustível para turbinas aeronáuticas a partir de ésteres de óleos vegetais. Nesse sentido, o próprio professor Parente tem defendido o “querosene vegetal” produzido em bases similares ao biodiesel.

Na atualidade, em escala global, os biocombustíveis com potencial para substituir o querosene de aviação são essencialmente obtidos a partir de óleos vegetais, de diversificada origem, tratados em processos termoquímicos (craqueamento catalítico), ou transesterificados de forma convencional e ajustados para as especificações aeronáuticas e, em cenários ainda incertos, os produtos de processos fermentativos avançados, como comentados a seguir.

Matérias-primas inovadoras para biocombustíveis aeronáuticos

Além das matérias-primas que vêm sendo utilizadas de forma ampla na produção de biodiesel no Brasil e no exterior, como soja, colza, palma e sebo, que dispensam descrição, outras fontes de óleo vegetal têm sido propostas nos estudos e testes em curso, em especial para a produção dos biocombustíveis destinados ao uso em turbinas aeronáuticas, como pinhão manso, babaçu, falso linho ou camelina e algas. Os principais fatores que justificam o interesse nessas culturas são a produtividade potencial e a possibilidade de cultivo em terras marginais, bem como a composição em termos de óleos graxos.



PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas*)

Da família das Euforbiáceas, essa planta é considerada pouco exigente e bem adaptada aos climas mais secos e solos fracos, podendo apresentar boa produtividade de sementes oleaginosas com um teor de óleo entre 30 a 40%. O óleo de pinhão manso é composto basicamente por ácidos graxos insaturados com 18 átomos de carbono, como o ácido linoléico (18C, com dupla insaturação) e ácido oléico (18C, com uma insaturação). Tais características conferem bom potencial para a produção de biocombustíveis e têm motivado um grande interesse nesse vegetal. Em países como Índia e Tailândia, onde o pinhão manso é utilizado de modo incipiente para fabricação de biodiesel, a colheita do pinhão se dá apenas um ano após o cultivo e alcança, no quarto ano a estabilidade de produção em torno de 1.000 a 2.000 kg/ha, que poderia, segundo estudos, dobrar com irrigação (DRUMOND, 2007).



Figura 3: Fruta e arbusto do pinhão manso (Fonte: Embrapa)

Não obstante as perspectivas favoráveis, é preciso observar que o pinhão manso ainda é um cultivo agronomicamente pouco conhecido, especialmente nas condições de baixa fertilidade dos solos e reduzida pluviosidade. A Figura 3 mostra esta cultura, que deve ser mais bem estudada antes de recomendar sua expansão de forma extensiva. Como um sinal de que ainda se trata de uma cultura pouco explorada, de produção inexpressiva, não se dispõem de dados regulares de produção e de preços de óleo de pinhão manso.



BABAÇU (*Orbignya phalerata*, Mart.)

O babaçu (Fig. 4) é uma palmeira de grande porte (até 20 m) da família das Arecaceae, nativa na região de transição entre a caatinga e a floresta amazônica, dotada de frutos drupáceos com sementes oleaginosas e comestíveis das quais se extrai um óleo (representando cerca de 7% do peso total do fruto), empregado na alimentação e com potencial para a produção de biocombustíveis. Os principais componentes do óleo do babaçu são ácidos graxos saturados: 50% ácido láurico (12C), 20% ácido mirístico (14C) e 11% ácido palmítico (16C), sendo um óleo bastante mais leve que a maioria dos óleos vegetais e mais adequado à produção do bioquerosene. A safra vai de setembro a março e os principais produtos comerciais extraídos do babaçu são o óleo e a torta resultante do processo de extração do óleo (VIVACQUA, 1968).



Figura 4: Palmeira e cacho de frutos do babaçu (Fontes Inpa e Portal São Francisco)

Ainda que o óleo de babaçu dê origem a um biodiesel de alta qualidade, com alto índice de cetano e boa estabilidade à oxidação, suas características de escoamento a baixas temperatura são piores que produtos de igual peso molecular, mas com níveis mais elevados de insaturação.

Embora os babaçuais sejam um importante recurso natural e a sua exploração extrativista seja fonte de subsistência para muitos brasileiros, ocupando milhões de hectares do território nacional, as informações agronômicas sobre essa palmeira são escassas quanto aos aspectos produtivos, pragas e doenças, que são dados fundamentais para promover seu uso em bases econômi-



cas. Observações similares poderiam ser feitas sobre outras palmeiras de bom potencial, como a macaúba (*Acrocomia aculeata*) e o licuri (*Syagrus coronata*), que devem merecer mais atenção.

CAMELINA (*Camelina Sativa*)

A camelina (Fig. 5) é um arbusto da família da Brassicáceas (a mesma da couve e da colza), estudada desde 2002 por pesquisadores da Universidade Estadual de Montana (EUA), em busca de plataforma para produção de produtos biotecnológicos avançados, incluindo biocombustíveis. Essa planta é considerada rústica, resistente à seca e tolerante aos solos fracos, produzindo frutos cujas sementes apresentam um elevado conteúdo oleaginoso, cerca de 35% (NETO, 2010).

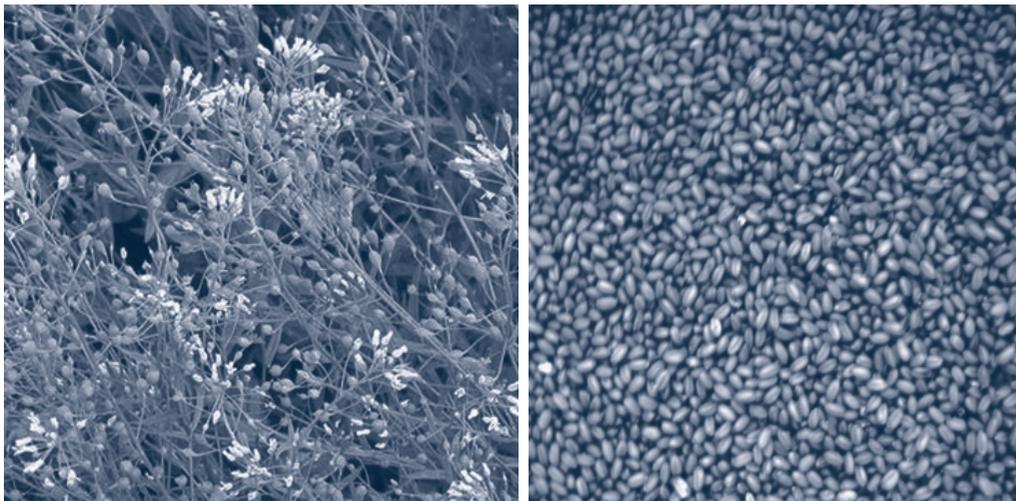


Figura 5: Arbusto e sementes de Camelina

O óleo de camelina é composto predominantemente por ácidos graxos insaturados, como os ácidos linolênico, linoléico e oléico, todos com 18 átomos de carbono. No entanto, o conhecimento agrônômico dessa espécie, cultivada no Brasil para a alimentação de pássaros, é ainda bastante limitado.

ALGAS

As algas são os primeiros seres vivos que apareceram na Terra e produzem a energia necessária ao seu metabolismo através da fotossíntese. Há uma ampla variedade de algas, sendo que a



maior parte das espécies são unicelulares e mesmo as mais complexas não possuem raízes, caules ou folhas verdadeiras. Algumas espécies são ricas em lipídios e sua adoção com matéria-prima para produção de biocombustível tem sido sugerida com frequência. Segundo alguns estudos, produzidos ultimamente em uma superfície semeada com algas equivalente a um hectare poderiam ser produzidos até 100 mil litros de biodiesel (AGÊNCIA FAPESP, 2008).

Não obstante seu grande potencial e permitirem a produção de bioenergia sem comprometer terrenos cultiváveis para outros fins, o desenvolvimento de sistemas de produção de biocombustíveis utilizando algas ainda estão em fase experimental inicial.

Assim, importantes questões ainda estão sendo progressivamente esclarecidas, como as eventuais vantagens das microalgas sobre as macroalgas e das algas de água doce frente às algas de água salgada, as melhores formas de cultivo (bioreatores ou tanques), a importância do enriquecimento com CO₂, as técnicas de reprodução, a susceptibilidade a doenças e procedimentos de controle da produção, a colheita e a extração do óleo.

Processos de obtenção de biocombustíveis para turbinas aeronáuticas

Os processos de obtenção de biocombustíveis com perspectivas de substituir o querosene de aviação podem ser: a) químicos, como a transesterificação e o hidrocraqueamento catalítico, em ambos os casos, utilizando como matéria-prima óleos vegetais ou gorduras animais, b) termoquímicos, utilizando em geral biomassa lignocelulósica, inicialmente gaseificada, com posterior produção de hidrocarbonetos líquidos, e c) bioquímicos, empregando leveduras ou bactérias modificadas, capazes de processar açúcares e produzir hidrocarbonetos. Esses processos são brevemente revisados a seguir.

a) Processos químicos

Atualmente, o processo mais desenvolvido para a produção de biodiesel é a transesterificação, que pode ser seguida da separação das frações mais leves, para acerto das especificações e obtenção de um biocombustível similar ao querosene. A transesterificação é um processo de conversão de triglicerídeos (gorduras animais ou óleos vegetais) a ésteres de ácidos graxos e glicerina, através da reação com alcoóis (geralmente metanol, podendo ser utilizado também o etanol, com menor rendimento). Como catalisadores em geral são utilizadas bases fortes, podendo também ser adotados ácidos ou enzimas (SCHUCHARDT



et al., 1998). Os produtos finais dessa reação são os ésteres metílicos ou etílicos, com composição correspondente aos ácidos graxos disponíveis na matéria-prima processada e a glicerina. Para a produção do bioquerosene, considerando as especificações necessárias para o uso aeronáutico, é necessária uma etapa posterior de purificação e separação das frações mais adequadas para uso em turbinas a gás (PARENTE, 2008).

b) Processos termoquímicos

- b.1) Craqueamento catalítico - Mediante o craqueamento (processo de decomposição térmica) de óleos vegetais realizado em presença de moléculas de hidrogênio e catalisado adequadamente, também denominado hidrocraqueamento catalítico, é possível praticamente eliminar os produtos oxigenados e obter como produtos uma mistura de hidrocarbonetos, que mediante processos posteriores de destilação, permite obter frações similares ao querosene de aviação (OLIVEIRA, 2007). Como esse processo requer reatores pesados e consome hidrogênio, pode ser implementado mais facilmente em refinarias de petróleo, como no caso da Petrobras, que durante alguns meses utilizou óleo vegetal na carga processada de unidades de hidrotreatamento (HDT) da Refinaria Gabriel Passos, em Betim. Esse processo foi batizado como H-Bio e mostrou a possibilidade de produzir hidrocarbonetos com temperaturas de destilação na faixa do querosene, a partir de óleos vegetais, tendo sido descontinuado por razões econômicas (PETROBRAS, 2007). Além da Petrobras, grupos de pesquisa em universidades brasileiras, como a UFSC, UFRJ, UFPa e UnB têm se dedicado a essa tecnologia, inclusive em estudos experimentais, trabalhando com óleos vegetais de culturas diversas.
- b.2) Gaseificação e síntese catalítica - Por essa rota de conversão, a biomassa sólida é gaseificada, em temperaturas elevadas (da ordem de 1.000°C), com sua conversão quase completa em uma mistura de gases (basicamente CO, H₂, CO₂ e vapor de água). Após a sua limpeza e purificação, esses gases podem ser utilizados para a síntese de hidrocarbonetos líquidos, geralmente mediante o processo Fischer-Tropsch, utilizando catalisadores com ferro e cobalto. Esse processo e seus congêneres são conhecidos também como BTL (biomass-to-liquid). Dependendo da concepção adotada e dos fluxos processados, podem ser obtidos hidrocarbonetos similares ao querosene de aviação. As dificuldades a superar nessa rota são o domínio e a economicidade do processo de gaseificação, bem como os processos de tratamento dos gases de síntese, que ainda estão em desenvolvimento, inclusive com a proposição de rotas bioquímicas para síntese a partir de gases (DATAR et al., 2004).



c) Rotas bioquímicas

Considerando o uso de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) geneticamente modificadas, a empresa Amyris Brasil S.A. (EUA-Brasil) tem avançado na proposição de processos de conversão de açúcares em hidrocarbonetos, com perspectivas de uso energético. Tais leveduras em vez de etanol, produzem isoprenóides, como o farneseno e o pinene, que após hidrogenados, apresentam excelentes características como combustível. Por exemplo, o ponto de névoa (início do congelamento) do farneseno é inferior a -50°C , dentro da especificação do QAV-1 no Brasil. A Amyris tem uma planta piloto em Campinas e desenvolve projetos em parceria com empresas brasileiras do setor sucroalcooleiro, como a Usina São Martinho, Açúcar Guarani, Cosan e Votorantim Novos Negócios.

Outra rota bioquímica igualmente promissora foi apresentada pela empresa americana LS-9, utilizando bactérias *Escherichia coli* re-engenheiradas, capazes de produzir uma gama de hidrocarbonetos, inclusive na faixa do querosene de aviação, utilizando como matéria prima soluções açucaradas.

Ambas rotas ainda se encontram em desenvolvimento e embora promissoras, é difícil afirmar em quanto tempo poderão disponibilizar processos competitivos.

Atividades recentes em biocombustíveis aeronáuticos

Nos últimos anos têm sido apresentados diversos projetos e programas relacionados a biocombustíveis de aviação. Estas atividades, no Brasil como no exterior, têm envolvido empresas aéreas, fabricantes de aviões, turbinas aeronáuticas e institutos de pesquisas ligados à prospecção de combustíveis alternativos. A seguir, são sumarizadas algumas iniciativas no exterior e no Brasil, que em diferentes níveis de maturação, indicam o crescimento do interesse nesse grupo de biocombustíveis.

Iniciativas no exterior

Em um processo desenvolvido com ativa participação da IATA, entidade que reúne as companhias aéreas de todo o mundo e em boa medida ativado pela pressão desencadeada pela União Européia para taxar as emissões de carbono, no âmbito do Protocolo de Quioto, diversas empresas têm promovido vôos de demonstração utilizando biocombustíveis, enquanto outras em-



presas passaram a oferecer tecnologia e/ou biocombustíveis para esse fim. No site da IATA (2010) estão listadas as seguintes experiências com biocombustíveis ¹⁰:

- Em fevereiro de 2008, um Boeing 747-400 da companhia aérea Virgin Atlantic, voou com uma das turbinas propulsoras alimentada com mistura de querosene de aviação e 20% de biocombustível produzido por transesterificação de óleo de babaçu e óleo de coco.
- Entre 2008 e 2009 foram realizados testes em aviões Boeing de diversas companhias aéreas, em todos eles utilizando em uma das turbinas querosene de aviação misturado com 50% de biocombustível produzido por craqueamento catalítico de óleos vegetais de diferentes culturas:
 1. em dezembro de 2008, um Boeing 747-400 da Air New Zealand voou duas horas com um biocombustível de óleo de pinhão manso;
 2. em janeiro de 2009, um Boeing 737-800 com motores CFM da Continental Airlines voou com um biocombustível de óleo de algas e de pinhão manso durante um vôo experimental de duas horas. Foi usada a potência total de decolagem e alcançada uma altitude de 25.000 pés (BIODIESELBR, 2010a).
 3. em janeiro de 2009, um Boeing 747-300 com motores Pratt & Whitney da Japan Air Lines voou por uma hora com um biocombustível produzido com óleo de camelina (84%), de pinhão manso (15%) e de algas (1%);
 4. em novembro de 2009, um Boeing 747 com motores da GE da KLM - Royal Dutch Airlines - efetuou um vôo demonstrativo de uma hora com passageiros convidados, utilizando óleo de camelina. Foi relatado que nessa proporção (50%) o biocombustível manteve as especificações do combustível normal, incluindo o ponto de congelamento de -47°C e o ponto de ignição de 38°C (SILVEIRA, 2006).

Visando assegurar que os biocombustíveis a serem empregados pelas empresas aéreas atendam aos pressupostos de sustentabilidade, a IATA informa estar trabalhando com a Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB) na elaboração de padrões de sustentabilidade para esses biocombustíveis (por exemplo proporcionando reduções nas emissões de carbono, não competindo por recursos hídricos escassos e não afetando a produção de alimentos, nem causando desmatamento ou impactos ambientais indesejáveis. A expectativa dessa Associação é que já em 2020 cerca de 6% do mercado aeronáutico seja atendido com biocombustíveis sustentáveis (IATA, 2010).

¹⁰ Nessa referência constam também vôos experimentais com combustíveis alternativos do tipo Fischer Tropsch (GTL), possivelmente produzidos a partir de gás natural.



A empresa norte-americana Rentech informou que está produzindo combustível sintético para jatos e diesel renovável em sua planta de demonstração no Colorado (EUA). A tecnologia empregada é termoquímica, associada a um processo Fischer-Tropsch modificado. Essa companhia informou ainda ter assinado contratos com 13 companhias aéreas para entrega de biocombustíveis produzidos a partir da biomassa de resíduos sólidos. Quando estiver em plena operação, espera produzir 600 mil barris por dia de combustíveis sintéticos e 35 MW de energia elétrica (WORLDBIOFUELS MARKETS NEWS, 2010).

Em julho de 2008, a British Airways divulgou um programa de avaliação de quatro combustíveis alternativos em um banco de ensaio de turbinas Rolls Royce. Em março de 2009, essa companhia informou estar tendo dificuldades para obter biocombustível para os testes, contudo essa dificuldade aparentemente foi superada, pois em novembro de 2009 confirmou esses testes, sem informar os tipos de biocombustíveis ou apresentar detalhes (A SEMANA, 2010).

Recentemente, a Lufthansa informou que pretende se tornar uma das primeiras grandes companhias aéreas a misturar bicombustível com querosene tradicional em vôos comerciais, devendo começar a utilizar a mistura de biocombustível e querosene de aviação em 2012. Por sua vez, a KLM, concorrente da Lufthansa, informou que pretende fazer vôos comerciais usando bicombustível já a partir de 2011 (G1 ECONOMIA E NEGÓCIOS, 2010).

Em síntese, esses testes têm demonstrado que, nas configurações estudadas, a utilização de misturas com 50% de biocombustíveis (obtidos por craqueamento catalítico de diferentes óleos vegetais) e querosene de aviação não exigiu adaptação das aeronaves ou dos propulsores, que foram operados praticamente sem alteração das condições de desempenho. Reforçando essas conclusões, em novembro de 2009 a American Society of Testing and Materials (ASTM) lançou a norma D7566-09, que apresenta as características que devem apresentar os combustíveis sintéticos¹¹ para uso aeronáuticos, incluindo biocombustíveis Fischer-Tropsch.

Iniciativas no Brasil

Confirmando a crescente relevância do uso de biocombustíveis para a aviação no Brasil, em maio de 2010 um grupo de dez empresas dos setores aeronáutico, transporte aéreo e de

¹¹ Nessa referência constam também vôos experimentais com combustíveis alternativos do tipo Fischer Tropsch (GTL), possivelmente produzidos a partir de gás natural.



desenvolvimento de combustíveis fundou a Aliança Brasileira para Biocombustíveis de Aviação (Abraba), com o objetivo de promover o uso desta fonte de energia. Essa iniciativa teve como motivações básicas promover a segurança de suprimento e eventualmente a competitividade dos biocombustíveis frente aos combustíveis fósseis, bem como a reconhecida capacidade do Brasil em bioenergia e o menor impacto ambiental dos biocombustíveis.

Participam da Abraba, a Embraer, indústria aeronáutica brasileira de classe mundial, a Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil, as companhias aéreas TAM, Gol, Azul e Trip, e representantes e empresas produtoras de biocombustível: a União da Indústria de Cana-de-açúcar (Unica), a Algae Biotecnologia, a Amyris Brasil e a Associação Brasileira de Produtores de Pinhão Manso (ABPM). Essa associação, aberta a outras empresas, tem o objetivo de “promover iniciativas públicas e privadas que busquem o desenvolvimento e a certificação de biocombustíveis sustentáveis para a aviação por meio de diálogos com criadores de políticas públicas” e a formação de uma visão positiva dos biocombustíveis aeronáuticos pelo público e pelos tomadores de decisão, defendendo ainda que esses combustíveis devem apresentar preços competitivos e alcançar os mesmos níveis de segurança que o querosene de aviação (BIODIESELBR, 2010b).

No que diz respeito a testes, ainda em abril de 2010, a TAM anunciou que ainda neste ano pretende fazer o primeiro voo na América Latina com bioquerosene de aviação, devendo utilizar produto obtido a partir de óleo de pinhão manso em mistura de 50% com querosene de aviação. A aeronave utilizada será um Airbus A320, em um voo sem passageiros, com 45 minutos de duração, que decolará e pousará no aeroporto do Galeão (RJ). São parceiros da TAM nessa iniciativa: a Airbus, fabricante da aeronave, a CFM International (joint venture entre a americana GE Aviation e a francesa Snecma) fabricante das turbinas e a ABPPM. A empresa não apresentou estimativas sobre o custo dessa iniciativa, mas avaliou os benefícios em termos de sustentabilidade, considerando que o bioquerosene de pinhão manso emite entre 65% e 80% menos gases de efeito estufa do que o querosene derivado de petróleo atualmente usado nas aeronaves¹². O voo de teste com a mistura desse bioquerosene é um primeiro passo mas sua adoção em larga escala, ainda levará tempo, dependendo entre outros fatores da formação de uma cadeia de produção do bioquerosene (BIODIESELBR, 2010c). Chama a atenção nessa experiência a utilização de uma matéria-prima ainda marginal na produção de biocombustíveis no Brasil, o pinhão manso, e, aparentemente, o pioneirismo na utilização de produto transesterificado, o único disponível no país. Em pratica-

¹² Não são conhecidas pelos autores análises de ciclo de vida que possam corroborar essa expectativa de mitigação das emissões.



mente todos os vôos de teste realizados até o momento, apresentados no tópico anterior, têm sido adotados biocombustíveis produzidos por craqueamento catalítico, que possam atender a especificação definida pela norma ASTM D-7566-09. Com efeito, o processo termoquímico praticamente desaparece com a molécula original do óleo vegetal e dá origem a um produto bastante diferente, que em princípio pode ser formulado de acordo com as exigências.

Em uma linha mais inovadora, e relativamente otimista, a companhia aérea Azul e a Embraer anunciaram que pretendem realizar, no início de 2012, o primeiro vôo experimental com o uso de bioquerosene obtido a partir de cana-de-açúcar, produto em fase de desenvolvimento pela empresa Amyris. Embora o processo de certificação do novo combustível seja longo, espera-se que esse biocombustível possa ser produzido em escala industrial a partir de 2013. Foi informado ainda que o percentual de biocombustível a ser adotado será definido considerando os parâmetros de segurança e o uso desse bioquerosene será feito em apenas um dos dois tanques do avião (BIODIESELBR, 2010d).

Cabe ressaltar que os vôos de demonstração realizados e por realizar devem ser considerados essencialmente manifestações de interesse e boa vontade do setor aeronáutico, e ações que procuram mostrar uma imagem de comprometimento das empresas em favor do meio ambiente. No entanto, eles agregam efetivamente pouco em termos de tecnologia e sustentabilidade dos processos produtivos para obtenção de biocombustíveis adequados e competitivos.

Em termos legais, tramita no Congresso Nacional um Projeto de Lei que “estimula uso de combustível vegetal na aviação civil no Brasil”. De autoria do senador Osmar Dias (PDT-PR), o projeto PLS 416/05 determina que a Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) estimule a realização de pesquisas de tecnologias aplicáveis à aviação voltadas ao uso de combustíveis renováveis¹³. O texto prevê que para desenvolver pesquisas que visem ao uso de combustíveis renováveis na aviação, a Anac poderá realizar acordos de cooperação com instituições de pesquisa, indústrias e universidades, bem como para aquisição de serviços tecnológicos. Os projetos de pesquisa, segundo a proposta, serão implantados com orçamento próprio da Agência ou por meio de convênios com instituições governamentais de fomento. O texto propõe ainda a suspensão do pagamento do Imposto de Importação e do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) que

¹³ Sem dúvida, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), que dispõe de laboratórios para estudos de combustíveis (Laboratório de Referência para Qualidade de Combustíveis, Cepat, em Brasília-DF), e é a entidade pública responsável por definir e acompanhar a especificação dos combustíveis brasileiros e seria mais indicada para atender os objetivos desse Projeto de Lei.



incidem sobre insumos destinados às aeronaves adaptadas à utilização do combustível vegetal (BIODIESELBR, 2010e).

Como assinalado anteriormente, precisa ser considerado que em se tratando de biocombustível aeronáutico, destinado majoritariamente ao abastecimento de aeronaves de distintas procedências e que efetuam voos internacionais, é indispensável que toda iniciativa de promoção do desenvolvimento e uso integre a necessidade de concentração internacional.

Perspectivas para os biocombustíveis aeronáuticos

A utilização do etanol hidratado como combustível aeronáutico parece estar madura e em fase de consolidação, como mostram a produção regular de aviões agrícolas e a existência de motores homologados para esse biocombustível. No entanto, o uso de etanol se limita a aviões leves com motores a pistão, mercado esse relativamente reduzido.

O maior mercado aeronáutico, atingindo cerca de US\$ 300 bilhões anuais, é representado pelos aviões civis e militares com turbinas a gás e que apenas nos últimos anos vem mostrando forte interesse em encontrar sucedâneos para o querosene de aviação. Como visto, diversos testes e vôos de demonstração têm sido realizados, na maioria dos casos empregando misturas de biocombustíveis obtidos por craqueamento catalítico com querosene de aviação, processo que permite maior adequação às estritas especificações de qualidade que devem ser atendidas¹⁴.

Nesse sentido, apesar do Brasil contar com uma relevante história no desenvolvimento de tecnologias para a produção e uso de biocombustíveis líquidos, com uma ampla base industrial para a produção de etanol e biodiesel, deve-se contar com prudência as perspectivas de adoção regular e massiva de biocombustíveis no mercado de transporte aéreo, pois são limitadas. Possibilidades concretas de expansão rápida no curto prazo.

Com efeito, sem decididos esforços em pesquisa e desenvolvimento, nos campos agrícola e industrial, que aperfeiçoem e assegurem a sustentabilidade dos processos de produção, as expec-

¹⁴ Isso traduz o estágio atual do conhecimento, que pode ser alterado por inovações mais radicais, aqui representadas pelas rotas bioquímicas citadas anteriormente neste Documento.



tativas geradas pelas diversas iniciativas relatadas neste Documento Técnico são insuficientes para conduzir à efetiva implantação de um mercado de biocombustíveis aeronáuticos.

Entre os desafios que deverão ser enfrentados para a concreta viabilização dos biocombustíveis aeronáuticos, incluindo o desenvolvimento de um mercado internacional, destacam-se:

- 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 ao combustíveis convencionais¹⁵.
- 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.

Além dos desafios citados acima, merece particular atenção as matérias-primas a serem utilizadas. Os biocombustíveis aeronáuticos têm sido propostos frequentemente associados a cultivos inovadores (pinhão-manso, camelina, algas, etc.), que apresentam um bom potencial, contudo, são pouco conhecidos, com aspectos agronômicos ainda a serem determinados e uma limitada base de germoplasma. Obter informações consistentes nesses campos exige tempo e dinheiro, sem a garantia de resultados positivos que confirmem a viabilidade do uso desses cultivos como fonte de energia.

¹⁵ Esses aspectos são fundamentais e favorecem significativamente a utilização de palmáceas tropicais, de cultivos perenes e de elevada produtividade, entretanto ainda pouco conhecidas em termos agronômicos. A potencialidade de espécies como o dendê, babaçu, licuri e macaúba é certamente superior a do pinhão manso e da camelina, culturas que de certa forma ainda podem ser classificadas como curiosidades agronômicas.



Nesse sentido, se efetivamente se pretende obter soluções viáveis em alguns anos e não em décadas, devem ser também considerados os cultivos com sistemas de produção já estruturados e com suficiente escala produtiva, que vêm sendo utilizados para a produção de bioetanol em muitos países.

Em qualquer contexto, a produtividade ambiental é decisiva: fazem sentido, inclusive assegurando sua necessária compatibilidade com a produção de alimentos, apenas as espécies que apresentem alta produção por unidade de área, por unidade de energia consumida e por volume de água utilizado.

Finalmente, cabe reiterar que a possibilidade de que seja adotada a cobrança de uma taxa associada às emissões de carbono fóssil nas viagens aéreas tende efetivamente a sinalizar um aumento no custo de operação das empresas aéreas e pode representar um fator importante para promover a superação desses desafios.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aeroálcool, 2008, “Vantagens do uso do álcool em motores aeronáuticos”, disponível em: <<http://www.aeroalcool.com.br/vantagens.htm>>, acessado em abril de 2008.

Agência FAPESP, 2008. “Biodiesel feito de algas”, disponível em: <<http://www.agencia.fapesp.br/materia>>, acessado em agosto de 2010.

ANP, 2010, Anuário Estatístico 2010, Agência Nacional de Petróleo, Biocombustíveis e Gás Natural, Rio de Janeiro.

A Semana, 2010, “British Airways e Rolls-Royce testam combustíveis alternativos”, disponível em: <<http://www.asemana.publ.cv/spip.php>>, acessado em agosto de 2010.

BIAS, 2006, “Development of Renewable Aviation Fuels”, Baylor Institute for Air Science, Baylor University, disponível em: <<http://www.baylor.edu/bias>>, acessado em setembro de 2008.

Biodieselbr, 2010a “Continental Airlines tests biofuel in Boeing 737” disponível em: <<http://www.biodieselmagazine.com/article>>, acessado em agosto de 2010.

Biodieselbr, 2010b “Empresas brasileiras criam aliança para uso de biocombustíveis em aviação”, disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/empresas-brasileiras-alianca-bio-combustiveis-aviacao>>, acessado em agosto de 2010.

Biodieselbr, 2010c “TAM fará voo com biocombustível em setembro”, disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/tam-voe-biocombustivel-setembro>>, acessado em agosto de 2010.

Biodieselbr, 2010d “Azul e Embraer anunciam voo experimental com bioquerosene”, disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/energia/r1-azul-embraer-voe-experimental-bioquerosene>>, acessado em agosto de 2010.

Biodieselbr, 2010e “Projeto estimula uso de combustível vegetal na aviação civil”, disponível em:



<<http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/projeto-estimula-combustivel-vegetal-aviacao>>, acessado em agosto de 2010.

BNDES, 2008, “Bioetanol de Cana-de-Açúcar; energia para o desenvolvimento sustentável”, co-edição BNDES, CGEE, CEPAL e FAO, Rio de Janeiro.

CTA, 2002, “Dados sobre o Projeto PROSENE”, Centro Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos.

Datar, R.P., Shenkman, R.M., Cateni, B.G., Huhnke, R.L. and Lewis, R.S. 2004. “Fermentation of biomass-generated producer gas to ethanol. *Biotechnology and Bioengineering*”, vol. 86(5).

Drumond, M. A., et al., 2007, “Pinhão manso: pesquisa da Embrapa avalia planta para produção de biodiesel no semi-árido”, Portal do Agronegócio, disponível em www.portaldoagronegocio.com.br/, acessado em julho de 2010.

Guibet, J.C., 1997, “Fuels and engines: technology, energy, environment”, Ed. Technip, Paris.

G1 Economia e Negócios, 2010 “Lufthansa vai usar biocombustível a partir de 2012”, disponível em: <<http://g1.globo.com/economia-e-negocios/noticia>>, acessado em agosto de 2010.

IAE, 2009, “Projeto de Turbina Aeronáutica de Pequena Potência de 5000 N”, Instituto de Aeronáutica e Espaço, Centro Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

IATA, 2010, “Fact sheet: alternative fuels, International Air Transport Association”, disponível em: <http://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Pages/alt_fuels.asp>, acessado em agosto de 2010.

IEA, 2009, 2009 World Energy Outlook, International Energy Agency, Paris.

IEA, 2010, Oil Market Report, International Energy Agency, Paris.

IPCC, 1999, “Aviation and the Global Atmosphere” – A Special Report of IPCC Working Groups I and III, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1999.



Neiva Embraer, 2008, "Aeronave Ipanema - Vantagens do Motor a Álcool", disponível em: <<http://www.aeroneiva.com.br/site/content/produtos/>>, acessado em março de 2008.

Neto, M. C., 2010, "Biocombustíveis Brasil" (Biobras), UNB, Brasília.

Nygren, E., Aleklett, K., Höök, M., 2009, Aviation fuel and future oil production scenarios, Energy Policy, vol. 37 (10).

Oliveira, F.C.C. et al., 2007, "Biodiesel: Possibilidade e desafios" Revista Química e Saúde.

Parente, E., "Lipofuels: biodiesel and biokerosene", apresentação ao INMETRO, 2009.

Petrobras, 2007, "The H-Bio Process", disponível em: <www2.petrobras.com.br/tecnologia/ing/hbio.asp>, acesso em novembro de 2009.

Reportagem: "Projeto estimula combustível vegetal", disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco>>. Acessado em agosto de 2010.

Reportagem: "Revolução dos biocombustíveis chega à aviação", disponível em: <www.tierramerica.info/nota>. Acessado em agosto de 2010.

Schuchardt, U., Serchelia, R., Vargas, R.M., 1998, "Transesterification of Vegetable Oils: a Review", Journal of the Brazilian Chemistry Society, vol. 9(1).

Scientific American, "Mistura em pleno vôo" edição 44 - Janeiro 2006, disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/artigos/mistura_em_pleno_voo>. Acessado em agosto de 2010.

Silveira, V., 2006, "Mistura em pleno vôo, Scientific American Brasil", nº 44, disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/artigos/mistura_em_pleno>, acessado em julho de 2010.

Simões, A.F., Schaeffer, R., 2004, "Aspectos energéticos, ambientais e socio-econômicos associados à introdução de combustíveis alternativos no transporte aéreo brasileiro", Programa de Planejamento Energético, COPPE- UFRJ.



Vivacqua, F. A., 1968, "Babaçu, Aspectos Sócios - Econômicos e Tecnológicos". Brasília: Universidade de Brasília, 217p.

Worldbiofuels Markets News, 2010. "Aviation biofuels – the major developments, opportunities, players and issues", disponível em: <worldbiofuelsmarkets.info>, acessado em agosto de 2010.

Sites consultados

<<http://www.aeronautica.com.br>> (Acesso em 21/07/10)

<<http://www.saebrasil.org.br>> (Acesso em 21/07/10)

<<http://www.pinhaomanso.com.br>> (Acesso em 21/07/10)



ANEXOS

1. REGULAMENTO TÉCNICO ANP Nº 1/2009, anexo à RESOLUÇÃO ANP Nº 5, de 3.2.2009, referente à gasolina de aviação.
2. REGULAMENTO TÉCNICO ANP Nº /2009, anexo à RESOLUÇÃO ANP Nº 37, de 1º.12.2009, referente ao querosene de aviação.

Anexo 1

REGULAMENTO TÉCNICO ANP Nº 1/2009

(Anexo à RESOLUÇÃO ANP Nº 5, de 3.2.2009, publicado no DOU 4.2.2009)

Objetivo

Estabelecer a especificação da gasolina de aviação produzida, importada e comercializada em todo território nacional.

Normas aplicáveis

A determinação das características dos produtos será realizada mediante o emprego de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, da American Society for Testing and Materials - ASTM e do Energy Institute - EI.

Os dados de incerteza fornecidos nos métodos relacionados a seguir devem ser usados somente como guia para aceitação das determinações em duplicata do ensaio e não devem ser considerados como tolerância aplicada aos limites especificados neste Regulamento.

A análise do produto deverá ser realizada em amostra representativa do mesmo, obtida segundo os métodos NBR 14883 - Petróleo e produtos de petróleo - Amostragem manual ou ASTM D 4057 - Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products.



As características de especificação da gasolina de aviação deverão ser determinadas de acordo com a publicação mais recente dos seguintes métodos de ensaio:

Métodos da ABNT

| MÉTODO | TÍTULO |
|-----------|--|
| NBR 6563 | Gás liquefeito de petróleo e produtos líquidos de petróleo - Determinação de enxofre - Método da lâmpada |
| NBR 6577 | Combustíveis para aviação - Determinação da tolerância à água |
| NBR 7148 | Petróleo e produtos de petróleo - Determinação da massa específica, densidade relativa e grau API - Método do densímetro |
| NBR 7975 | Combustível de aviação - Determinação do ponto de congelamento |
| NBR 9619 | Produtos de petróleo - Destilação à pressão atmosférica |
| NBR 14359 | Produtos de petróleo - Determinação da corrosividade - Método da lâmina de cobre |
| NBR 14525 | Combustíveis - Determinação de goma por evaporação |
| NBR 14976 | Combustíveis de aviação - Determinação da estabilidade à oxidação - Método do resíduo potencial |

Métodos da ASTM

| MÉTODO | TÍTULO |
|--------|--|
| D86 | Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure |
| D130 | Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test |
| D323 | Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method) |
| D381 | Gum Content in Fuels by Jet Evaporation |
| D611 | Aniline Point and Mixed Aniline Point of Petroleum Products and Hydrocarbon Solvents |
| D873 | Oxidation Stability of Aviation Fuels (Potential Residue Method) |
| D909 | Supercharge Rating of Spark-Ignition Aviation Gasoline |



| MÉTODO | TÍTULO |
|--------|--|
| D910 | Standard Specification for Aviation Gasolines |
| D1094 | Water Reaction of Aviation Fuels |
| D1266 | Sulfur in Petroleum Products (Lamp Method) |
| D1298 | Density, Relative Density (Specific Gravity), or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method |
| D1319 | Hydrocarbon Types in Liquid Petroleum Products by Fluorescent Indicator Adsorption |
| D1405 | Estimation of Net Heat of Combustion of Aviation Fuels |
| D2386 | Freezing Point of Aviation Fuels |
| D2392 | Color of Dyed Aviation Gasolines |
| D2622 | Sulfur in Petroleum Products by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry |
| D2624 | Electrical Conductivity of Aviation and Distillate Fuels |
| D2700 | Motor Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel |
| D3338 | Estimation of Net Heat of Combustion of Aviation Fuels |
| D3341 | Lead in Gasoline-Iodine Monochloride Method |
| D4052 | Density and Relative Density of Liquids by Digital Density Meter |
| D4057 | Standard Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products |
| D4176 | Free Water and Particulate Contamination in Distillate Fuels (Visual Inspection Procedures) |
| D4529 | Estimation of Net Heat of Combustion of Aviation Fuels |
| D4809 | Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (Precision Method) |
| D5059 | Lead in Gasoline by X-Ray Spectroscopy |
| D5191 | Vapor Pressure of Petroleum Products (Mini Method) |
| D5453 | Determination of Total Sulfur in Light Hydrocarbons, Spark Ignition Engine Fuel, Diesel Engine |



Tabela 1: Especificação da Gasolina de Aviação - GAV 100 LL

| CARACTERÍSTICAS | UNIDADES | LIMITES | MÉTODOS | |
|---|-------------------|--|----------|-------|
| | | | ABNT | ASTM |
| APARÊNCIA | | | | |
| Aspecto | | Claro, límpido, isento de água e material sólido | Visual | |
| Cor(1), ou | | Azul | - | D2392 |
| Cor(1), Lovibond | | 1,7 – 3,5 | - | IP 17 |
| PODER ANTIDETONANTE | | | | |
| Mistura pobre, Número de Octano, mín. (2) | | 99,6 | - | D2700 |
| Índice de desempenho, mín. (2) | | 130 | - | D909 |
| Chumbo Tetraetila, máx. | g Pb/L | 0,56 | - | D3341 |
| | mL/L | 0,53 | | D5059 |
| Poder Calorífico Inferior, mín. | MJ/kg | 43,5 | - | D1405 |
| | | | | D3338 |
| | | | | D4529 |
| | | | | D4809 |
| Massa Específica a 20°C | kg/m ³ | Anotar | NBR 7148 | D4052 |



| CARACTERÍSTICAS | UNIDADES | LIMITES | MÉTODOS | |
|---|-----------|-------------|-----------|-------------------------|
| | | | ABNT | ASTM |
| DESTILAÇÃO | | | | |
| Ponto Inicial de Ebulição, PIE. | °C | Anotar | | |
| 10 % evaporado, máx. | °C | 75 | | |
| 40% evaporado, mín. | °C | 75 | | |
| 50% evaporado, máx. | °C | 105 | | |
| 90% evaporado, máx. | °C | 135 | | |
| Ponto Final de Ebulição, PFE, máx. | °C | 170 | | |
| Soma 10% + 50% evaporados, mín. | °C | 135 | | |
| Recuperados, mín. | %vol. | 97 | | |
| Resíduo, máx. | %vol. | 1,5 | | |
| Perda, máx. | %vol. | 1,5 | NBR 9619 | D86 |
| Pressão Vapor Reid, kPa a 37,8°C | kPa | 38,0 - 49,0 | NBR 14149 | D323 D5191 D5190 |
| Ponto de Congelamento, máx. | °C | -58 | NBR 7975 | D2386 |
| Teor de Enxofre, máx. | % massa | 0,05 | NBR 6563 | D1266 D2622 D5453 |
| Corrosividade ao Cobre (2h a 100°C), máx. | - | 1 | NBR 14359 | D130 |
| Goma atual, | mg/100 mL | 3 | NBR 14525 | D381 |



| CARACTERÍSTICAS | UNIDADES | LIMITES | MÉTODOS | |
|--|-----------|--------------|-----------|-------|
| | | | ABNT | ASTM |
| ESTABILIDADE À OXIDAÇÃO (16H) | | | | |
| Goma potencial, máx. | mg/100 mL | 6 | NBR 14976 | D873 |
| Chumbo precipitado, máx. | mg/100 mL | 2 | | |
| TOLERÂNCIA À ÁGUA | | | | |
| Mudança de volume, máx. | mL | 2 | NBR 6577 | D1094 |
| ADITIVOS (3) | | | | |
| ADITIVO DISSIPADOR DE CARGAS ESTÁTICAS (3) (4) (5) | | | | |
| Condutividade elétrica (6) | pS/m | 50 – 450 (5) | - | D2624 |

(1) O único corante azul autorizado para este fim é o 1,4 dialquilamino antraquinona o qual deverá ser adicionado no limite máximo de 2,7 mg/L.

(2) Os valores de poder antidetonante devem ser reportados com aproximação de 0,1 para número de octano. Para índice de desempenho os valores devem ser reportados com números inteiros.

(3) De acordo com as normas ASTM 910 e Defence Standard 91-90, Issue 2 Publicada em 31 março de 2006 (www.dstan.mod.uk) ou normas posteriores que venham a substituí-las.

(4) Deverá ser adicionado quando houver acordo entre as partes envolvidas.

(5) O aditivo dissipador de cargas estáticas poderá ser utilizado para aumentar a condutividade elétrica da Gasolina de Aviação. Neste caso a condutividade deverá ser mensurada e a concentração de aditivo informada a qual não deverá ser superior a 5 mg/L.

A determinação da Condutividade Elétrica deverá ser realizada, e o limite de especificação aplicável, quando à gasolina de aviação for adicionado o aditivo dissipador de cargas estáticas



Anexo 2

REGULAMENTO TÉCNICO ANP Nº 6/2009

(Anexo à RESOLUÇÃO ANP Nº 37, de 1º.12.2009, publicado no DOU 2.12.2009)

Objetivo

Este Regulamento Técnico aplica-se ao Querosene de Aviação QAV-1, denominado internacionalmente JET A-1, destinado exclusivamente ao consumo de turbinas de aeronaves e comercializado em todo o território nacional e estabelece sua especificação.

Composição

O querosene de aviação deve ser constituído exclusivamente de hidrocarbonetos derivados das seguintes fontes convencionais: petróleo, condensados líquidos de gás natural, óleo pesado, óleo de xisto e aditivos relacionados na Tabela I do Regulamento Técnico.

Normas Aplicáveis

A determinação das características do querosene de aviação será realizada mediante o emprego das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “American Society for Testing and Materials” (ASTM) e “Energy Institute” (IP).

Os dados de precisão, repetitividade e reprodutibilidade, fornecidos nos métodos relacionados a seguir, devem ser usados somente como guia para aceitação das determinações em duplicata do ensaio e não devem ser considerados como tolerância aplicada aos limites especificados neste Regulamento.

A análise do produto deverá ser realizada em amostra representativa do mesmo, obtida segundo método ABNT NBR 14883 - Petróleo e Produtos de Petróleo - Amostragem manual ou ASTM D4057 - Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products e ASTM D 4306 - Standard Practice for Aviation Fuel Sample Containers for Tests Affected by Trace Contamination



As características incluídas na Tabela I anexa deverão ser determinadas de acordo com a publicação mais recente dos métodos de ensaio, a seguir relacionados:

Aparência

| MÉTODO | TÍTULO |
|----------------|---|
| ABNT NBR 14921 | Produtos de petróleo - Determinação da cor - Método do colorímetro Saybolt |
| ASTM D156 | Saybolt Color of Petroleum Products (Saybolt Chromometer Method) |
| ASTM D4176 | Free Water and Particulate Contamination in Distillate Fuels (Visual Inspection Procedures) |
| ASTM D5452 | Particulate Contamination in Aviation Fuels by Laboratory Filtration |
| ASTM D6045 | Color of Petroleum Products by the Automatic Tristimulus Method |



Composição

| MÉTODO | TÍTULO |
|----------------|---|
| ABNT NBR 6298 | Gasolina, querosene de aviação e combustíveis destilados - Determinação de enxofre mercaptídico - Método potenciométrico. |
| ABNT NBR 6563 | Gás liquefeito de petróleo e produtos líquidos de petróleo - Determinação do teor de enxofre - Método da lâmpada |
| ABNT NBR 14533 | Gás liquefeito de petróleo e produtos líquidos de petróleo - Determinação do teor de enxofre - Método da lâmpada |
| ABNT NBR 14642 | Combustíveis e solventes - Determinação qualitativa de enxofre ativo pelo ensaio Doctor |
| ABNT NBR 14932 | Produtos líquidos de petróleo - Determinação dos tipos de hidrocarbonetos pelo indicador de adsorção por fluorescência |
| ASTM D1266 | Sulfur in Petroleum Products (Lamp Method) |
| ASTM D1319 | Hydrocarbon Types in Liquid Petroleum Product by Fluorescent Indicator Adsorption |
| ASTM D2622 | Sulfur in Petroleum Products by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry |
| ASTM D3227 | (Thiol Mercaptan) Sulfur in Gasoline, Kerosine, Aviation Turbine, and Distillate Fuels (Potentiometric Method) |
| ASTM D3242 | Acidity in Aviation Turbine Fuel |
| ASTM D4294 | Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry |
| ASTM D4952 | Qualitative Analysis for Active Sulfur Species in Fuels and Solvents (Doctor Test) |
| ASTM D5453 | Determination of Total Sulfur in Light Hydrocarbons, Spark Ignition Engine Fuel, Diesel Engine Fuel, and Engine Oil by Ultraviolet Fluorescence |
| ASTM D6379 | Determination of Aromatic Hydrocarbon Types in Aviation Fuels and Petroleum Distillates-High Performance Liquid Chromatography Method with Refractive Index Detection |



Volatilidade

| MÉTODO | TÍTULO |
|----------------|--|
| ABNT NBR 7148 | Petróleo e produtos de petróleo -Determinação da massa específica, densidade relativa e °API -Método do densímetro |
| ABNT NBR 7974 | Produtos de petróleo - Determinação do ponto de fulgor pelo vaso fechado Tag |
| ABNT NBR 9619 | Produtos de petróleo - Destilação à pressão atmosférica |
| ABNT NBR 14065 | Destilados de petróleo e óleos viscosos - Determinação da massa específica e da densidade relativa por densímetro digital |
| ASTM D56 | Flash Point by Tag Closed Cup Tester |
| ASTM D86 | Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure |
| ASTM D1298 | Density, Relative Density (Specific Gravity), or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method |
| ASTM D3828 | Flash Point by Small Scale Closed Cup Tester |
| ASTM D4052 | Density and Relative Density of Liquids by Digital Density Meter |

Fluidez

| MÉTODO | TÍTULO |
|---------------|--|
| ABNT NBR7975 | Combustível de aviação - Determinação do ponto de congelamento |
| ABNT NBR10441 | Produtos de petróleo -Líquidos transparentes e opacos - Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica |
| ASTM D445 | Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity) |
| ASTM D2386 | Freezing Point of Aviation Fuels |
| ASTM D5972 | Freezing Point of Aviation Fuels (Automatic Phase Transition Method) |
| ASTM D7153 | Freezing Point of Aviation Fuels (Automatic Laser Method) |
| ASTM D7154 | Freezing Point of Aviation Fuels (Automatic Fiber Optical Method) |



Combustão

| MÉTODO | TÍTULO |
|---------------|---|
| ABNT NBR11909 | Querosene - Determinação do ponto de fuligem |
| ASTM D1322 | Smoke Point of Kerosine and Aviation Turbine Fuel |
| ASTM D1840 | Naphthalene Hydrocarbons in Aviation Turbine Fuels by Ultraviolet Spectrophotometry |
| ASTM D3338 | Estimation of Net Heat of Combustion of Aviation Fuels |
| ASTM D4809 | Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (Precision Method) |
| ASTM D4529 | Estimation of Net Heat of Combustion of Aviation Fuels |

Corrosão

| MÉTODO | TÍTULO |
|---------------|--|
| ABNT NBR14359 | Produtos de petróleo - Determinação da corrosividade - Método da lâmina de cobre |
| ASTM D130 | Corrosiveness to Copper Corrosion from Petroleum Products by Copper Strip Test |
| IP 227/1993 | Corrosiveness of silver of aviation turbine fuels - silver strip method |

Estabilidade

| MÉTODO | TÍTULO |
|------------|---|
| ASTM D3241 | Thermal Oxidation Stability of Aviation Turbine Fuels (JFTOT Procedure) |



Contaminantes

| MÉTODO | TÍTULO |
|---------------|--|
| ABNT NBR14525 | Combustíveis - Determinação de goma por evaporação |
| ASTM D381 | Gum Content in Fuels by Jet Evaporation |
| ASTM D3948 | Determining Water Separation Characteristics of Aviation Turbine Fuels by Portable Separometer |
| IP 540 | Determination of the existent gum content of aviation turbine fuel - Jet evaporation method |

Condutividade

| MÉTODO | TÍTULO |
|------------|--|
| ASTM D2624 | Electrical Conductivity of Aviation and Distillate Fuels |

Lubricidade

| MÉTODO | TÍTULO |
|------------|--|
| ASTM D5001 | Measurement of Lubricity of Aviation Turbine Fuels by the Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator (BOCLE) |



Tabela 2: Especificação de Querosene de Aviação - QAV-1. (1)

| CARACTERÍSTICAS | UNIDADES | LIMITES | MÉTODOS | |
|---|----------|---|------------|----------------|
| | | | ABNT | ASTM |
| APARÊNCIA | | | | |
| Aspecto | - | claro, límpido e isento de água não dissolvida e material sólido à temperatura ambiente | Visual | Visual D4176 |
| Cor (2) | - | Anotar | 14921 - | D156 D6045 |
| Partículas contaminantes, máx. (3) | mg/L | 1,0 | - | D5452 |
| COMPOSIÇÃO | | | | |
| Acidez total, máx. mg | KOH/g | 0,015 | - | D3242 |
| Aromáticos, máx. ou | % volume | 25,0 | 14932 | D1319 |
| Aromáticos totais, máx. (4) | % volume | 26,5 | - | D6379 |
| | | | 6563 - | D1266 D2622 |
| Enxofre total, máx. | % massa | 0,30 | 14533 - | D4294 D5453 |
| Enxofre mercaptídico, máx. ou, | % massa | 0,0030 | 6298 | D3227 |
| Ensaio Doctor (5) | - | negativo | 14642 | D4952 |
| Componentes na expedição da refinaria produtora (6) | | | | |
| Fração hidroprocessada | % volume | anotar | - | - |
| Fração severamente hidroprocessada | % volume | anotar | - | - |
| VOLATILIDADE | | | | |
| Destilação (7) | °C | | 9619 | D86 |
| P.I.E. (Ponto Inicial de Ebulição) | | anotar | | |



| CARACTERÍSTICAS | UNIDADES | LIMITES | MÉTODOS | |
|---|-------------------|--------------|---------|--------------|
| | | | ABNT | ASTM |
| 10% vol. recuperados, máx. | | 205,0 | | |
| 50% vol. recuperados | | anotar | | |
| 90% vol. recuperados | | anotar | | |
| P.F.E. (Ponto Final de Ebulição), máx. | | 300,0 | | |
| Resíduo, máx. | % volume | 1,5 | | |
| Perda, máx. | % volume | 1,5 | | |
| Ponto de fulgor, mín. | °C | 40,0 ou 38,0 | 7974 - | D56 D3828 |
| | | 771,3 | 7148 | D1298 |
| | | - | 14065 | D4052 |
| Massa específica a 20°C (8) | kg/m3 | 836,6 | | |
| FLUIDEZ | | | | |
| | | | 7975] | D2386 (9) |
| | | | - | D5972 |
| | | | - | D7153 |
| Ponto de congelamento, máx | °C | - 47 | - | D7154 |
| Viscosidade a -20°C, máx. | mm2/s | 8,0 | 10441 | D445 |
| COMBUSTÃO | | | | |
| | | | | D4529 |
| | | | | D333 |
| Poder calorífico inferior, mín. | MJ/kg | 42,80 | - | D4809 8 |
| | | 25,0 | 11909 | D1322 |
| Ponto de fuligem, mín. ou Ponto de fuligem, mín. e Naftalenos, máx. | mm mm % volume | 19,0 3,00 | - | D1840 |
| CORROSÃO | | | | |
| Corrosividade à prata, máx. | | 1 | - | (10) |
| Corrosividade ao cobre (2h a 100°C), máx. | | 1 | 14359 | D130 |



| CARACTERÍSTICAS | UNIDADES | LIMITES | MÉTODOS | |
|---|-----------|---|---------|-------|
| | | | ABNT | ASTM |
| ESTABILIDADE | | | | |
| Estabilidade térmica a 260°C (11) | | | - | D3241 |
| queda de pressão no filtro, máx. | mm Hg | 25,0 | - | - |
| depósito no tubo (visual) | - | < 3 (não poderá ter depósito de cor anormal ou de pavão) | - | - |
| CONTAMINANTES | | | | |
| Goma atual, máx. (12) | mg/100 mL | 7 | 14525 | D381 |
| Índice de separação de água, MSEP (13) | | | - | D3948 |
| com dissipador de cargas estáticas, mín. | - | 70 | | |
| sem dissipador de cargas estáticas, mín. | - | 85 | | |
| ESTABILIDADE | | | | |
| Condutividade elétrica (14) | pS/m | 50 - 600 | - | D2624 |
| LUBRICIDADE | | | | |
| Lubricidade, BOCLE máx. (15) | mm | 0,85 | - | D5001 |
| ADITIVOS (16) | | | | |
| Antioxidante (17) | mg/L | 17,0 - 24,0 | - | - |
| Desativador de metal, máx. (18) | mg/L | 5,7 | - | - |
| Dissipador de cargas estáticas, máx. (19) | mg/L | 5,0 | - | - |
| Inibidor de formação de gelo (20) | % volume | 0,10 - 0,15 | - | - |
| Detector de vazamentos, máx. (21) | mg/kg | 1,0 | - | - |
| Melhorador da lubricidade | | (22) | - | - |



Observações:

- (1) O produtor, importador, distribuidor e revendedor de querosene de aviação deverão assegurar que durante o transporte do produto não ocorrerá contaminação com biodiesel ou produtos contendo biodiesel.
- (2) A Cor deverá ser determinada na produção e, no caso de produto importado, no tanque de recebimento após a descarga.
- (3) Limite aplicável somente na produção. No caso de produto importado, a determinação deverá ser realizada no tanque de recebimento após a descarga e o resultado anotado no Certificado da Qualidade. No carregamento da aeronave será aplicado o limite estabelecido pela IATA - International Air Transport Association.
- (4) Em caso de conflito entre os resultados de Aromáticos e Aromáticos Totais prevalecerá o limite especificado para Aromáticos.
- (5) Em caso de conflito entre os resultados de enxofre mercaptídico e de ensaio Doctor, prevalecerá o limite especificado para o enxofre mercaptídico.
- (6) Deverá constar no Certificado da Qualidade emitido pelo Produtor: o percentual das frações hidroprocessada e severamente hidroprocessada de combustível na batelada, inclusive as não adições das frações mencionadas. Entende-se como fração severamente hidroprocessada aquela fração de hidrocarbonetos derivados de petróleo, submetida a uma pressão parcial de hidrogênio acima de 7.000 kPa durante a sua produção
- (7) Embora o QAV-1 esteja classificado como produto do Grupo 4 no ensaio de Destilação, deverá ser utilizada a temperatura do condensador estabelecida para o Grupo 3.
- (8) O valor da massa específica a 20°C deverá ser sempre anotado. A massa específica a 15°C poderá ser anotada adicionalmente para facilitar as transações comerciais internacionais. Para a temperatura de 15°C, aplicam-se os limites de 775,0 a 840,0 kg/m³.
- (9) Em caso de conflito entre os resultados pelos diferentes métodos prevalecerá o resultado pelo método ABNT 7975/ASTM D2386.
- (10) Deve ser determinada pelo método do Energy Institute - IP227/1993, somente para abastecimento das aeronaves HS-125 e AT-26 (Xavante).
- (11) A avaliação do depósito no tubo de aquecimento deverá ser realizada até no máximo duas horas após o término do teste. Somente tubos fornecidos pelo fabricante do equipamento, especificado para a determinação da estabilidade térmica poderão ser utilizados.
- (12) Poderá ser empregado na distribuição o método IP 540, aplicando-se o mesmo limite de especificação. A análise de consistência só se aplica à Goma Atual, quando utilizada, na produção e na distribuição, a mesma metodologia.



- (13) Limite aplicável na produção. Na distribuição deverão ser observados os procedimentos contidos na ABNT NBR 15216.
- (14) Limites exigidos no local, hora e temperatura de entrega ao comprador no caso do combustível conter aditivo dissipador de cargas estáticas.
- (15) Limite aplicado na produção. O controle da lubricidade aplica-se somente aos combustíveis que contêm mais que 95% de fração hidroprocessada, sendo que desta, no mínimo 20% foi severamente hidroprocessada. Esse controle é realizado, também, para todos os combustíveis que contêm componentes sintéticos, conforme a Defence Standard 91-91, Issue 6 (<http://www.dstan.mod.uk>).
- (16) O Certificado da Qualidade e o Boletim de Conformidade devem indicar os tipos e as concentrações dos aditivos utilizados.
- São permitidos apenas os tipos de aditivos relacionados na Tabela I deste Regulamento Técnico, qualificados e quantificados na edição mais atualizada da ASTM D1655 Standard Specification for Aviation Turbine Fuels e na Norma do Ministério da Defesa da Inglaterra denominada Defence Standard 91-91 (Defence Standard 91-91 do United Kingdom - Ministry of Defence - www.dstan.mod.uk).
- (17) Se o combustível não for hidroprocessado, a adição do antioxidante é opcional. Neste caso, a concentração do material ativo do aditivo não deverá exceder a 24,0 mg/L. Se o combustível ou componente do combustível for hidroprocessado, a adição do antioxidante é obrigatória e a concentração do material ativo do aditivo deverá estar na faixa de 17,0 a 24,0 mg/L. A adição do antioxidante deverá ser realizada logo após o hidroprocessamento e antes do produto ser enviado aos tanques de estocagem. Quando o combustível final for composto de mistura de produto hidroprocessado e não hidroprocessado, deverão ser anotados: a composição da mistura e os teores de aditivos utilizados nas frações hidroprocessada e não hidroprocessada, separadamente.
- (18) O aditivo desativador de metal poderá ser utilizado para melhorar a Estabilidade térmica do Querosene de Aviação. Neste caso, deverão ser reportados os resultados da Estabilidade térmica obtidos antes e após a adição do aditivo.
- A concentração máxima permitida na primeira aditivação é de 2,0 mg/L. Uma aditivação complementar posterior não poderá exceder ao limite máximo acumulativo de 5,7 mg/L.
- (19) O aditivo dissipador de cargas estáticas poderá ser utilizado para aumentar a Condutividade elétrica do Querosene de Aviação.
- A concentração máxima permitida na primeira aditivação é de 3,0 mg/L. Uma aditivação complementar posterior não poderá exceder a concentração máxima acumulativa especificada de 5,0 mg/L.



- (20) É opcional a adição do aditivo inibidor de formação de gelo, mediante acordo entre o revendedor e o consumidor, desde que sejam atendidos os limites especificados na Tabela I.
- (21) Quando necessário, o aditivo poderá ser utilizado para auxiliar na detecção de vazamentos no solo provenientes de tanques e sistemas de distribuição de querosene de aviação. Este aditivo deverá ser utilizado somente quando outros métodos de investigação forem exauridos.
- (22) A adição do aditivo melhorador da lubricidade deverá ser acordada entre revendedor e consumidor, respeitados os limites para cada tipo de aditivo.

