

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE CIÊNCIAS EXATAS E DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

**A EVOLUÇÃO DOS MOTORES A REAÇÃO E SEU IMPACTO NO MEIO
AMBIENTE**

GOIÂNIA
2020

WILSON CRAVEIRO DE SÁ NETO

**A EVOLUÇÃO DOS MOTORES A REAÇÃO E SEU IMPACTO NO MEIO
AMBIENTE**

Artigo científico apresentado à Pontifícia
Universidade Católica de Goiás como exigência
parcial para obtenção do grau de bacharel em
Ciências Aeronáuticas.

Professor Orientador: Me. Raul Francé Monteiro.

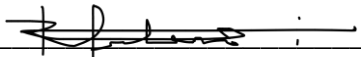
GOIÂNIA
2020

WILSON CRAVEIRO DE SÁ NETO

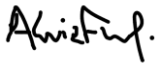
**A EVOLUÇÃO DOS MOTORES A REAÇÃO E SEU IMPACTO NO MEIO
AMBIENTE**

GOIÂNIA – GO, 25/11/2020.

BANCA EXAMINADORA

Me. Raul Francé Monteiro  CAER/PUC-GO 9,8
Assinatura Nota

Dr. Vagner Reis da Silveira *Vagner Reis da Silveira* UNIGOIÁS 9,8
Assinatura Nota

Esp. Andre Luiz da Silva Fernandes  CAER/PUC-GO 9,8
Assinatura Nota

A EVOLUÇÃO DOS MOTORES A REAÇÃO E SEU IMPACTO NO MEIO AMBIENTE

Wilson Craveiro de Sá Neto¹
Raul Francé Monteiro²

RESUMO

Este estudo volta-se à evolução dos motores aeronáuticos, como um processo inevitável para ao crescimento esperado para o setor aéreo, e os impactos socioambientais presentes nesse contexto. Foram considerados aspectos importantes para a transformação de sistemas motopropulsores, desde o seu advento até os dias atuais, ponderando-se os efeitos positivos e negativos desse avanço. Alguns deles estão relacionados à intensidade do tráfego aéreo, que cresce continuamente e, junto com isso, aumentam-se as partículas de gases nocivos lançadas na atmosfera. Tais gases, resultantes da queima de combustível fóssil, são eliminados pelos motores das aeronaves e podem causar graves problemas socioambientais ao planeta, como o aumento do aquecimento global, transtornos de saúde resultantes dos ruídos aeronáuticos e uma cadeia de despesas para o sistema. A questão tem sido largamente discutida por especialistas e pelas agências reguladoras mundiais, como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e da Federal Aviation Administration (FAA), com a finalidade de se conscientizar e fornecer apoio às indústrias aeronáuticas para que desenvolvam projetos que objetivem mitigar os impactos mencionados. Como metodologia de pesquisa, optou-se pela natureza básica, de objetivo exploratório e abordagem qualitativa, utilizando-se de material que destaca projetos inovadores já presentes no mercado. Citam-se, nesse sentido, os projetos de indústrias aeronáuticas como a Embraer e a CFM, que adotam moderna motorização, bem como os da Airbus Industry, em andamento, consistentes no desenvolvimento de aeronaves com emissão zero de poluentes, ou, ainda, os estudos da equipe composta por Dan YE, Jun LI e Jau TANG, que sugerem a possibilidade do motor de plasma. A tecnologia é dinâmica e as hipóteses apontam para resultados positivos no curto e médio prazo.

Palavras-chave: Motores a jato; Impacto ambiental; Ruídos aeronáuticos; Projetos inovadores.

ABSTRACT

This study focuses on aeronautical engines' evolution, as an inevitable process for the growth expected for the airline industry, and the socio-environmental impacts present in this context. Important aspects were considered for the transformation of powertrain systems, from their advent to the present day, including the positive and negative effects of this advance. Some of them are related to the intensity of air traffic, which grows continuously and, along with this, the particles of harmful gases released into the atmosphere increase. Such gases, resulting from the burning of fossil fuel, are eliminated by the aircraft engines and can cause serious social and environmental problems to the planet, such as the increase in global warming, health disorders

¹ Graduando em Ciências Aeronáuticas, Piloto Privado. Endereço eletrônico: craveiro.wilson@gmail.com

² Mestre em Psicologia e Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Professor da Escola de Ciências Exatas e da Computação da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Piloto de Linha Aérea – Avião, EC-PREV pelo CENIPA e credenciada SGSO pela ANAC. Endereço eletrônico: cmterfrance@hotmail.com

resulting from aeronautical noise and a chain of expenses for the system. The issue has been widely discussed by experts and by global regulatory agencies, such as the National Civil Aviation Agency (ANAC) and the Federal Aviation Administration (FAA), with the aim of raising awareness and providing support to the aeronautical industries to develop projects that aim to mitigate the mentioned impacts. As a research methodology, we chose the basic nature, with an exploratory objective and a qualitative approach, using material that highlights innovative projects already present in the market. In this sense, the projects of aeronautical industries such as Embraer and CFM, which adopt modern motorization, as well as those of the Airbus Industry, in progress, consistent with the development propulsion aircraft zero pollutant, or studies of the team composed by Dan YE, Jun LI and Jau TANG, who suggest the possibility of plasma engine. Technology is dynamic and the hypotheses point to positive results in the short and medium term.

Keywords: *Jet engines; Environmental impact; Aeronautical noises; Innovative projects.*

INTRODUÇÃO

No decorrer da história da humanidade, a busca de novas formas de agir, pensar, comunicar-se, integrar-se e transacionar, que facilitassem a vida em sociedade, sempre foi um constante objetivo do homem. Uma dessas formas é a aeronave, que, desde o final da Segunda Guerra Mundial, passou a contar com motores à reação. Esses motores geram potência suficiente para propulsionar toneladas de metal pelo espaço aéreo, mas, ao mesmo tempo, lançam diversos compostos nocivos na atmosfera. Considerando este cenário, é imprescindível conhecer o impacto desses equipamentos ao meio ambiente, e, em contrapartida, identificar se os propulsores mais modernos são, de fato, mais econômicos e se atendem, satisfatoriamente, às demandas relacionadas à saúde dos seres vivos no planeta.

Para percorrer os caminhos da pesquisa, optou-se por um trabalho de natureza básica, sem finalidades prontas e imediatas, mas que pretende organizar e reunir conhecimentos que possam ser utilizados em outras pesquisas. O estudo tem, ainda, objetivo exploratório e procedimento bibliográfico, à medida que investiga na literatura e em documentos disponíveis – livros, periódicos, artigos científicos, dissertações, teses, normativos – informações atualizadas sobre o impacto causado no meio ambiente natural pelos motores à reação, assim como os distúrbios advindos da poluição sonora destes mesmos equipamentos. De abordagem qualitativa, pretende

identificar dados e interpretar fenômenos, dando-lhes atribuição de significados (VIANNA, 2013).

A pesquisa é dividida em três sessões. Na primeira é feito um breve histórico dos motores a reação. Na segunda sessão são discutidos os diversos problemas causados pelos motores, como emissão de gases, como possível causa de doenças específicas; a síndrome aerotóxica, assim como a poluição sonora e os malefícios que ocasiona a quem é frequentemente exposto aos ruídos aeronáuticos. Já na terceira apontam-se algumas soluções para os problemas postos, citando-se alguns projetos já existentes e consolidados na aviação, além de outros ainda em fase de pesquisa, mas que prometem revolucionar o ramo da aviação.

1 MOTORES A REAÇÃO: BREVE HISTÓRICO

A história dos motores movidos a gasolina teve importante representação na pessoa de Nikolaus Otto, que ficou conhecido pelo motor de ciclo Otto. Entretanto, posteriormente, soube-se que tal motor já havia sido patenteado em 1861 pelo francês Alphonse Beau de Rochas. Em verdade, em 1876 (anos depois da patente), Otto construiu o primeiro motor a combustão interna, utilizando o ciclo de quatro tempos e, mesmo não parecendo lógico – mas por ter sido o construtor do primeiro motor baseado neste ciclo – ele acabou por ter seu nome ligado ao conceito. Anos mais tarde, a patente de Beau foi divulgada publicamente e a de Otto foi revogada (BRITANNICA, 1998).

Posteriormente, a primeira experiência com um motor que utilizava a teoria de reação em vez de explosão ocorreu em dezembro de 1910, na localidade francesa de Issy-Les-Moulineux, Paris. O fato ocorreu quando o projetista romeno Henri Coanda, aos 24 anos de idade, testou uma aeronave diferente de tudo que já se vira: possuía o tanque de combustível embutido na asa superior, rodas lateralmente móveis e uma empenagem em forma de 'X'. O motor era composto de um conjunto de palhetas que pareciam cimitarras, e que, ao ser acionado, não emitia um ronco, mas um silvo crescente. Coanda acionou a máquina que, contra a sua vontade, ganhou velocidade e se acidentou por falta de um piloto a bordo (MONTEIRO, 2002, p. 65).

Em seguida, evoluiu-se para o motor turbojato, com funcionamento a partir da entrada do ar pelo duto de admissão (parte frontal) que, por sua vez, o envia para o

compressor que o comprime para ser misturado ao combustível e queimado. Após a queima, o ar passa por uma seção de turbinas que converte a energia cinética dos gases em energia mecânica, acionando o conjunto compressor-caixa de acessórios, formando um ciclo. Assim, o ar é expelido em alta velocidade pelo bocal propulsor do motor (parte traseira) e todo o conjunto é movimentado no sentido contrário. Esses motores foram substituídos na aviação comercial pelos *turbofans*, que são mais silenciosos e mais econômicos, além de gerar maiores trações em baixas velocidades, tendo o turbojato sido mantido apenas na aviação militar (HOMA, 2007).

2 A AVIAÇÃO CIVIL E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS

2.1 EMISSÃO DE GASES

Sem dúvidas, o motor a reação tem forte impacto positivo na sociedade, uma vez que “encurtou” ainda mais as distâncias, possibilitando negociações entre nações distantes e o encontro de pessoas em poucas horas. Pode-se dizer que transformou em realidade sonhos, como o de viajar, encontrar entes queridos, conhecer locais do outro lado do globo terrestre e fomentar a economia mundial. Entretanto, ele também traz consigo os seus pontos negativos.

De acordo com a *Federal Aviation Administration* (FAA, 2015) os motores a reação emitem dióxido de carbono (CO₂), que compreende aproximadamente 70% de todo o seu escape, e vapor d’água, que compreende 30%. Os demais gases emitidos – menos de 1% – são poluentes³, como óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não queimados (HC), material particulado (MP) e outros compostos.

O CO₂ é produzido pelo carbono presente nos combustíveis combinado com o oxigênio no ar. É fruto da combustão completa de combustíveis de hidrocarboneto, como gasolina, combustível de jato e diesel. O CO₂ é emitido pelos motores principais das aeronaves e pelas *Auxiliary Power Units* (APU), que são pequenos motores a reação também presentes nas aeronaves para gerar energia elétrica e pneumática auxiliar.

³ Apesar de existirem formas diretas pelas quais o CO₂ também possa considerado um poluente (acidificação dos oceanos), entende-se que ele não é um gás poluente propriamente dito, razão pela qual foi aqui separado dos demais gases.

Juntamente com a H₂O, proveniente da combustão de hidrogênio, que é a fonte dos *contrails* (trilhas de condensação deixadas por aeronaves em altas altitudes), o CO₂ é o principal gás causador da mudança climática decorrente de motores a jato. Já os outros gases emitidos, como NO_x, HC, CH₄, CO, SO_x que são poluentes primários e precursores para a formação de ozônio, surgem da combustão incompleta de combustíveis, rápida troca de calor ou combinação de alguns compostos e são prejudiciais à qualidade do ar (FAA, 2015).

As trilhas de condensação (espécie de rastro de nuvem) podem parecer inofensivas, uma vez que são apenas rastros de água condensada, mas, infelizmente, não é bem assim. Elas cobrem a atmosfera terrestre mais que o natural, contribuindo para o aquecimento global. Ao longo da história da aviação, os *contrails* contribuíram mais para esse aquecimento do que a própria emissão de CO₂ pelos motores. De acordo com Bock (2019), estima-se que os impactos causados pelas trilhas irão triplicar até 2050, se nenhuma medida for tomada (SILVA, 2020; BOCK, 2019).

A parte de um voo que mais emite poluentes é a fase de cruzeiro; cerca de 85,7% deles são emitidos nesta fase, segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2019), enquanto o restante é emitido pelo ciclo *Landing and Take-Off* (LTO)⁴ e pelo APU. O ciclo LTO ajuda a definir um perfil de emissão de cada aeronave por fase do ciclo, como na decolagem, quando a aeronave pode utilizar até 100% da potência de seu motor (por tempo inferior a um minuto). Já nos táxis, a potência está próxima de *idle*⁵, mas, em alguns aeroportos, o táxi e a espera para decolagem podem demorar cerca de 20 minutos ou mais, ultrapassando o consumo na fase de decolagem (ROCHA; MARTINS; SANTOS, 2012; ANAC, 2019).

Um estudo feito pelas Nações Unidas com o intuito de analisar o impacto da aviação no meio ambiente demonstrou que 4,9% da mudança climática, pode estar relacionado à aviação. Além disso, ainda há a dificuldade de industrialização do querosene (Av Jet) usado nos motores a reação, que pode ser considerado limitado, uma vez que o óleo necessário para sua criação é bem específico. Considera-se que sua extração e seu refino contribuem negativamente com o impacto climático (KLOTZEL, 2018).

⁴ Área próxima à superfície (até 3000 pés de altura) onde há operação de aeronaves, aproximação final, táxi-chegada, táxi-saída, decolagem e subida.

⁵ Estado do motor em marcha lenta, ou seja, na aceleração mínima.

Em 2017, houve uma movimentação de mais de 4 bilhões de passageiros por linhas aéreas regulares e outros 2 bilhões voando em aviões particulares. A cada 100 quilômetros voados, uma aeronave Boeing 787-9 consome 2,3 litros por passageiro, cerca de 75% menos que um Boeing 707, da década de 1960. Mesmo tendo o consumo diminuído consideravelmente, é de se imaginar o impacto ambiental negativo causado por 9,2 bilhões de litros gastos a cada 100 quilômetros voados em um ano (KLOTZEL, 2018).

Figueiredo oferece algumas afirmativas: somente no século XX, houve um aumento de 25% da quantidade de monóxido de carbono na atmosfera. Em um período de 28 anos (1975-2003), 180 milhões de toneladas foram jogadas na atmosfera exclusivamente pelos motores de aviação, sem contar que o combustível fóssil é uma fonte finita, não renovável e responsável por chuvas ácidas e névoas. A quantidade gasta de combustível fóssil é muito maior que a quantidade gerada pela natureza, ou seja, o cenário que se tem é de que a cada dia haverá menos petróleo a ser explorado, aumentando o seu valor, razão pela qual a busca por novos substitutos não se restringe apenas ao mal causado (FIGUEIREDO, 2013).

Assim, comparada a outros tipos de atividades poluidoras, a aviação pode ser ainda pior. Suas emissões são depositadas por volta de 10 mil metros de altura e, nessas altitudes, o impacto na atmosfera é mais potente. Desse modo, se o querosene é assim tão ruim, qual o motivo de ainda não haver um outro combustível substituto? Diferentemente de biocombustíveis, como o etanol, o querosene possui uma relação energia/volume muito superior, além de algumas características químicas, como viscosidade e capacidade de se manter líquido em certas temperaturas. Por isso, teoricamente, poderá levar algum tempo até que novas tecnologias possibilitem a substituição definitiva desse combustível (FAA, 2015) de forma a atender tanto o aspecto ambiental quanto o econômico e tecnológico.

2.2 SÍNDROME AEROTÓXICA

Outros tipos de óleos também derivados do petróleo compõem diferentes sistemas no voo. A partir de 1960, as aeronaves a jato passaram a utilizar uma maneira mais barata e simples de prover ar para pressurização e climatização da cabine, permitindo que a aeronave voe em altitudes mais elevadas. Antes de lançar seus gases na atmosfera, o motor também desviará (sangrará) uma pequena parte

do ar da seção compressora, que poderá ter contato direto com fluidos lubrificantes do motor e ser contaminado antes que acesse a cabine em favor de sua pressurização. Segundo Hoyte (2010), para conservação dos motores, o composto organofosforado, extremamente tóxico, foi adicionado aos óleos lubrificantes.

O organofosforado foi desenvolvido durante a Segunda Guerra Mundial com o intuito de danificar o sistema nervoso humano (como mais uma arma contra os inimigos) e é atualmente utilizado como pesticida. Esse mesmo produto, se inalado pelos passageiros, pode gerar problemas como alteração da personalidade, afetar relacionamentos e o humor, além de propiciar a perda da consciência, memória e até convulsões. A esse efeito foi dado o nome, em 1999, de Síndrome Aerotóxica (HOYTE, 2010). De acordo com Lima et al.:

No caso de envenenamento por inalação, os sintomas iniciais mais comuns são caracterizados por dores no tórax, dificuldade de respiração e dores de cabeça, aliadas à visão borrada e lacrimejante. Quando ingerido provoca náuseas, vômitos, diarreias e câibras (efeitos iniciais mais comuns de envenenamento). Contrações e suor na pele são sintomas observados em caso de contato do produto com partes do corpo (2001, p. 19).

Logo no início da prática de utilização do ar sangrado (na década de 1960), alguns engenheiros alertaram sobre a possível contaminação do ar pelos óleos lubrificantes, mas o risco foi considerado insignificante. Somente depois, em 1999, a indústria Boeing decidiu não mais usá-lo nos modelos mais novos de aeronaves. A mudança ocorreu por apresentar resultados mais econômicos, mas as indústrias nunca reconheceram a possível toxicidade do ar das cabines. Com efeito, apesar de, em 2007, ter sido apresentado o Boeing 787, sem sistema de sangria, os demais modelos continuam sendo fabricados com o sistema antigo. Assim, serão anos até que todos os modelos anteriores sejam substituídos, dando continuidade à negligência da síndrome (HOYTE, 2010).

2.3 POLUIÇÃO SONORA

Os motores aeronáuticos, em especial os motores a reação, ainda trazem consigo outros problemas a serem solucionados. O ruído aeronáutico é uma das preocupações ambientais relacionadas às comunidades afetadas por operações de aviões com motores a reação, especialmente os presentes nos arredores dos grandes aeroportos internacionais e/ou aeródromos com maior quantidade de tráfego. O som

produzido pelas aeronaves, segundo o Environmental Report (ICAO), tem sido controlado desde 1970 por limites de ruídos estabelecidos pelas Normas e Práticas Recomendadas (SARPs), encontradas no Anexo 16 da Convenção de Chicago, já que é prejudicial à saúde (AEF, 2018; ICAO, 2016).

O Estudo de Saúde e Conhecimento de Crianças Afetadas por Tráfego de Rodovias e Ruídos da Aviação – denominado “estudo *Ranch*”, elaborado por uma equipe de universidades europeias, o *Ranch Team* – analisou 1174 crianças de 29 escolas localizadas próximas aos aeroportos ou em rotas de aeronaves do Reino Unido e evidenciou que o efeito de 5 decibéis a mais na rotina dessas crianças pode atrasar a idade de leitura em 2 meses. Ademais, pode causar distúrbios de sono e, a longo prazo, doenças cardiovasculares, entre outras (RANCH TEAM, 1999). Um estudo feito no aeroporto internacional de Heathrow, em Londres, apontou que as pessoas vivendo sob rotas aéreas têm de 10 a 20% mais chances de terem AVC e doenças cardíacas. Também há evidências de que a poluição sonora pode gerar impactos mentais nas pessoas, como ansiedade e estresse (AEF, 2018).

Fato é que noites bem dormidas são essenciais para uma vida saudável, propiciando bem-estar e disposição para realização de tarefas em períodos diurnos. A falta deste sono pode causar alguns problemas, como tendência à obesidade, diabetes e hipertensão, o que torna a perturbação do sono por ruídos um grave distúrbio. O sistema auditivo permanece ativo durante o sono, funciona como um guarda, que, em caso de “ameaças”, despertará o indivíduo. Esses despertares contínuos mantêm o sono mais superficial, além de levar a pessoa a demorar mais para pegar no sono e ter o despertar precoce (ICAO, 2019).

Uma demonstração desse fato é vista no aeroporto de Congonhas, localizado na cidade de São Paulo, uma das maiores cidades do mundo, distante 8,7km do centro da cidade, com uma área de 1.647.940,57m². Esse aeroporto movimentou quase 70.000 passageiros por dia em setembro de 2019. De acordo com Gallo (2011), 9.951 casas, escolas e hospitais, foram prejudicados pela poluição sonora gerada pelo aeroporto. A mesma reportagem dá conta de um pico de incríveis 96 decibéis, ruído suficiente para ensurdecer alguém. A título de comparação, segundo o Ministério do Trabalho, a exposição máxima diária permitida por lei a um trabalhador é de 1 hora e 45 minutos nesse nível de ruído (BRASIL, 2019; INFRAERO, 2018).

3 SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

O Estado, a sociedade e o meio empresarial têm responsabilidade e influência quando o assunto é a mudança climática. A função primordial do Estado, em específico, é propiciar, por meio de debates e mecanismos administrativos, jurídicos e fiscalizatórios, a diminuição da emissão de gases poluentes e, para tanto, algumas estratégias foram desenvolvidas.

Nesse sentido, o Protocolo de Quioto – Convenção sobre Mudança do Clima –, assinado em 1997, em vigor somente em 2006, idealizou mecanismos para estimular a redução de emissão de carbono com vistas à diminuição dos gases do efeito estufa por meio do comércio internacional de CO₂. Os países signatários do Protocolo, entre eles, o Brasil, deveriam estimular suas indústrias mais poluentes a reduzirem seus níveis de emissão, e, aquelas que cumprissem as metas de redução progressiva estabelecidas por lei, comprariam certificados das empresas mais bem sucedidas a fim de compensar a meta não alcançada (KHALILI, 2003).

Várias ações no Brasil frutificaram com a Convenção. Entre elas, citam-se as empresas que investem em pesquisa, como a Embraer, que, com o incentivo do Estado, mantém, permanentemente, laboratórios e equipes dedicadas aos estudos e desenvolvimento de novas tecnologias com vistas ao cumprimento das metas estipuladas na Convenção. Como exemplo, destaca-se a nova geração de aeronaves da empresa, os E-Jets E2, compostos pelos modelos 175-E2, E190-E2 e E195-E2, que contam com avanços em suas asas, a quarta geração de comandos *fly-by-wire*⁶, e novos modelos de motores produzidos pela indústria Pratt & Whitney. Nos dizeres da Embraer, a nova tecnologia “resultará em reduções de dois dígitos no consumo de combustível, por consequência, nas emissões de gases, no nível de ruído, no custo da manutenção e no aumento de disponibilidade das aeronaves” (EMBRAER, 2013).

A segunda geração das aeronaves E190 conseguiu em 17,3% o consumo de combustível e a emissão de CO₂ por assento, comparado ao seu antecessor, o E190-E1. Já o E195-E2 consumiu e emitiu 25,4% menos que o E195-E1. A aeronave também é a que produz menor nível de ruído em sua categoria (ANAC, 2016). O novo motor da CFM International, o LEAP⁷, utilizado também nas aeronaves Boeing 737 MAX, sob a sigla (LEAP 1-B), no Airbus A320neo (LEAP 1-A) e na Comac C-919

⁶ Tipo de controle das superfícies de aeronaves não-mecânico, ou seja, os movimentos são transmitidos por fios elétricos à um computador que executa a ação de maneira mais rápida e segura.

⁷ Sigla em inglês que significa *Leading Edge Aviation Propulsion* (Propulsão de Aviação de Ponta).

(LEAP 1-C), possui materiais mais leves em conjunto com outras tecnologias que elevaram o motor a um nível de consumo 15% mais eficiente, sem perder o padrão de confiabilidade nem elevar os custos de manutenção em comparação ao CFM56, utilizado na geração anterior (CFM, s/d.). A Airbus disponibiliza ao mercado o seu A320neo como o “líder das aeronaves de corredor único” e “imbatível em termos de eficiência de combustível”, e ainda aponta a tecnologia incorporada em suas pontas de asa, denominadas *sharklets*⁸; o dispositivo produz uma economia prevista de até 4% e uma redução de aproximadamente 900 toneladas de CO₂ por aeronave a cada ano (AIRBUS, s/d).

Sempre em busca de melhorias e do desenvolvimento limpo, a indústria brasileira também tem trabalhado em pesquisas empenhadas na utilização de biocombustíveis. Os resultados se mostram positivos e alguns voos já foram feitos, com o sucesso previsto, mas há muito para ser trabalhado para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa. Por certo, os combustíveis fósseis estão a serviço da humanidade há milhões de anos e o petróleo, em específico, há mais de cem anos, mas, por serem finitos, as exigências mundiais acordadas em Quioto precisam ser cumpridas em prol da qualidade de vida na Terra (ANAC, 2019).

Nesse sentido, o Bioquerosene de Aviação (BioQAV) é um combustível sustentável alternativo ao querosene e sua produção se dá a partir do método *drop-in*, ou seja, suas características físico-químicas são compatíveis às do combustível fóssil, tornando possível sua mistura sem gerar riscos operacionais (IATA, 2013). No Brasil, as principais matérias-primas utilizáveis para a produção de BioQAV são o babaçu, a cana-de-açúcar, a macaúba, a palma, a soja e o eucalipto. Em 2014, a GOL Linhas Aéreas, durante a Copa do Mundo de Futebol, realizou mais de 300 voos utilizando 4% de bioquerosene na mistura de seu combustível, deixando de emitir 239.136,32 kg de CO₂. Em porções maiores, os efeitos positivos do uso deste tipo de combustível seriam excepcionais (ANAC, 2019).

Segundo a ANAC (2015), o conceito *Air Traffic Management* (ATM) da ICAO também trabalha de maneira a otimizar a navegação aérea e coordena seus procedimentos a fim de aumentar a eficiência nas operações do tráfego em rota e nas

⁸ Dispositivos na ponta das asas das aeronaves que são como dobras que reduzem o arrasto e, consequentemente, o consumo de combustível em cerca de 4%.

Áreas de Controle Terminal (TMA), mas, além disso, existe a pretensão de diminuir a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE).

O Brasil iniciou tais otimizações em 2007, seguindo um conceito da ICAO, o *Performance Based Navigation* (PBN). Trata-se de um método de navegação que possibilita, entre outros procedimentos, a realização de descidas de maneira contínua – o procedimento *Continuous Descent Arrival* (CDA) – em substituição às tradicionais descidas em etapas. Toda essa iniciativa é resultado de uma filosofia maior, a *Next Generation Air Transport System* (NextGen), desenvolvida pelos Estados Unidos em 2003 e que pretende otimizar o tráfego aéreo estadunidense até 2025 (BETIOLO; ROCHA; MACHADO, 2009).

Como já colocado, a aeronave Boeing 787 não mais tira proveito de um sistema pneumático por sangria de pressão dos estágios do motor, pois passou a contar com um sistema elétrico apropriado para a pressurização das cabines. Com a medida, consegue gerar uma economia de, aproximadamente, 3% de combustível, mantendo seu potencial de prover ar pressurizado à cabine e eliminando o problema da síndrome aerotóxica (BOEING, 2007).

Outro projeto a caminho é o primeiro avião comercial com zero emissão de CO₂, apresentado pela Airbus: o ZEROe. Seu lançamento está para 2035. Os modelos do avião em produção são três: um *turbofan*, com capacidade para 120-200 passageiros e alcance de mais de 2000 milhas náuticas; um *turboprop*⁹, para mais de 100 passageiros e alcance de 1000 milhas náuticas; e o *blended-wing body*¹⁰, para mais de 200 passageiros e alcance próximo ao do *turbofan*. Os seus motores de turbina a gás modificados utilizam o hidrogênio líquido associado com o oxigênio. Além disso, as células de hidrogênio geram energia elétrica e com isso tem-se um sistema “elétrico-híbrido” muito eficiente e capaz até de substituir o APU das aeronaves (AIRBUS, 2020).

Para tornar tal projeto possível e entregá-lo dentro do prazo estimado, a indústria conta com significativo apoio governamental da França consistente em incentivo a pesquisas, tecnologias e mecanismos que encorajem o uso de combustíveis sustentáveis a fim de superar algumas barreiras e mudar paradigmas.

⁹ Motor de reação mista, onde um motor a jato aciona uma hélice, no caso uma hélice de 8 pás.

¹⁰ Estilo de aeronave na qual não se vê uma divisão clara entre o corpo e a asa, lembra uma asa-delta.

Os aeroportos também terão de passar por modificações para atender o dia a dia dessas aeronaves, como fornecer o suprimento de hidrogênio (AIRBUS, 2020).

Conforme Betiolo, Rocha e Machado (2009), o funcionamento das células de combustível consiste na conversão direta da energia química de um combustível em energia elétrica por meio de um processo eletroquímico, em que o hidrogênio é combinado ao oxigênio numa superfície, chamada eletrólito, liberando no fim apenas água e energia. A água proveniente do processo é pura e pode ser reaproveitada para o uso em sanitários ou, até mesmo, para consumo dos passageiros, o que reduziria o peso durante a decolagem e, conseqüentemente, o consumo de combustível (AIRBUS, 2009).

A motorização das aeronaves ainda conta com outros projetos. Um estudo apresentado no periódico AIP Advances, publicado pelo Instituto Americano de Física, apresentou um protótipo de um propulsor a jato que utiliza o plasma do ar induzido pela ionização de micro-ondas. Esse motor faz uso apenas de ar e eletricidade para produzir altas temperaturas e plasma pressurizado, que gera a propulsão. O plasma é um estado da matéria, como sólido, líquido e gasoso, e surge quando há a ionização de moléculas em altas temperaturas, como o fogo, ou em campos elétricos elevados, como um raio (YE; LI; TANG, 2020).

Nos testes, a força de propulsão do plasma foi determinada por uma esfera de metal sobre o tubo de quartzo, já que um barômetro não aguentaria a temperatura. Assim, a 400W de potência de micro-ondas e 1,45m³/h de taxa de fluxo de ar, foram obtidos 11N ou 28N/kW de força de propulsão. Baseando na área do tubo de quartzo, os valores se comparam aos de um motor a jato convencional (YE; LI; TANG, 2020).

Evoluir, para o meio aeronáutico, significa também diminuir o nível de ruído. Nesse sentido, diante da negligência do setor aeronáutico, em meados do século XX, em relação aos aspectos socioambientais, a ICAO, em 1971, apresentou o Anexo 16 – *Environmental Protection*, com o objetivo de reduzir ruído aeronáutico altamente nocivo naquela época (PESSOA, 2016). Com o passar do tempo e, a partir da evolução das tecnologias, a ICAO estabeleceu a metodologia *Balance Approach* por meio do Doc 9829, em que são apontadas quatro elementos: redução do ruído na fonte, melhorias nos procedimentos operacionais para redução de ruído, políticas de uso do solo e algumas restrições às operações (ICAO, 2004).

A redução do ruído na fonte tem como foco as aeronaves, cujos potentes motores são fonte do ruído e já devem seguir a certificação quanto ao padrão

aceitável. As melhorias nos procedimentos consistem, por exemplo, em traçar rotas que evitem sobrevoos em áreas urbanas, enquanto o desenvolvimento de políticas que limitem ou impeçam a construção de prédios relaciona-se à preservação da saúde (por exemplo, visando aqueles que habitam nas áreas mais próximas do aeródromo). Por fim, a restrição à operação de algumas aeronaves diz respeito à motorização menos atualizada em certos horários do dia e/ou noite (PESSOA, 2016).

Esta última limitação impulsionou as indústrias aeronáuticas, em 2019, a desenvolverem modelos mais adequados e avançados. A Embraer defende, nesse sentido, o quão silencioso é o modelo E-Jet E2, já mencionado. O 190-E2, por sua vez, é a aeronave mais silenciosa do mundo na categoria; a diferença pôde ser notada quando a companhia aérea Wideroe, ao iniciar as operações com tal modelo, teve de orientar os comissários a falar mais baixo e alguns que o experimentaram chegaram a compará-lo ao barulho de um carro elétrico (EMBRAER, 2019).

Uma solução um tanto incomum é o jardim acústico, áreas no entorno dos aeroportos que são moldadas com espécies de cavas e têm o objetivo de repelir o som, diminuindo pela metade seu efeito nas áreas urbanas. No momento, apenas um aeroporto da Holanda possui tal tecnologia, uma vez que é preciso dispor de uma área significativa, ao passo que os grandes aeroportos quase sempre mantêm uma área congestionada pela vizinhança que se aproxima para aproveitar das potencialidades, tornando-a uma opção inviável, na maioria dos casos. De todo modo, trata-se de uma solução funcional e sustentável (PESSOA, 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tomando-se como base a atividade humana no planeta, é possível afirmar que a aviação é uma criação relativamente recente. Contudo, seus avanços ocorreram de forma veloz, vale dizer, um processo revolucionário.

Ainda que com tamanho crescimento em um curto espaço de tempo, é possível notar que um bom trabalho vem sendo feito quanto à busca pela sustentabilidade do setor. Por certo, os motores atualmente consomem e, conseqüentemente, emitem quantidades muito menores de CO₂, entre outros gases, do que as emitidas por seus pioneiros. As indústrias, aparentemente, mostram-se mais conscientes em relação ao meio ambiente, graças às influências e exigências governamentais globais.

Além das mudanças tecnológicas, foi identificado o fomento a pesquisas no modo de voar, por exemplo, nas rotas das aeronaves, tornando-as mais econômicas e menos ruidosas, já que áreas mais habitadas começaram a ser evitadas em partes mais baixas dos voos.

Uma nova revolução pode estar a caminho, com o breve lançamento de aeronaves com zero emissão de CO₂, o que eliminaria 4% da emissão mundial desse gás, pelos quais a aviação é responsável. A indústria aeronáutica, assim, bem como as autoridades têm buscado atender à demanda socioambiental posta, o que confirma a hipótese da pesquisa. Sugere-se, para novas pesquisas, o monitoramento dos resultados quanto à emissão de CO₂ e à poluição sonora dos aviões de motor a reação, dada sua inquestionável utilidade, conforto e agilidade sem perder o foco da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

AIRBUS. **A320neo**: Unbeatable fuel efficiency. s/d. Disponível em: <<https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320family/a320neo.html#leader>>. Acesso em: 9 out. 2020.

_____. **ZEROe: Towards the world's first zero-emission commercial aircraft**. 2020. Disponível em: <<https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.html#hydrogen>>. Acesso em: 9 out. 2020.

_____. **Emission free power for civil aircraft**: Airbus successfully demonstrates fuel cells in flight, 2009. Disponível em: <www.airbus.com/são/presscentre/pressreleases/pressreleases_items/08_02_19_mission_free_power.html>. Acesso em: 2 out. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil Ano Base 2018**. Volume único, 1ª edição. Brasília: 2019, p. 13-15. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/inventario-nacional-de-emissoes_v6.pdf . Acesso em: 24 set. 2020.

_____. **Plano de Ação para a Redução de Gases de Efeito Estufa da Aviação Civil Brasileira – Ano Base 2015**. 2ª Edição. Brasília: 2016. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/PlanodeAo2015_final.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

AVIATION ENVIRONMENT FEDERATION (AEF) **Aircraft noise**: a long-standing problem, 2018. Disponível em: <<https://www.aef.org.uk/what-we-do/noise/>>. Acesso em: 10 set. 2020.

BETIOLO, C.; ROCHA, G.; MACHADO, P. **Iniciativas da aviação para redução das emissões de CO₂**. 2009. Disponível em: <http://www.dcabr.org.br/download/publicacoes-tecnicas/Iniciativas_da_Aviacao_para_Reducacao_das_Emissoes_de_CO2.pdf>. Acesso em: 9 out. 2020.

BOEING. **787 No-Bleed Systems**: saving fuel and enhancing operational efficiencies, 2007. Disponível em: <https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_07/AERO_Q407_article2.pdf>. Acesso em: 09 out. 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR-15 – ANEXO 1** – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente. 2019. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-15-Anexo-01.pdf>. Acesso em: 15 set. 2020.

BOCK, L.; BURKHARDT, U. **Contrail cirrus radiative forcing for future air traffic**, Atmos. Chem. Phys. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/acp-19-8163-2019>>, 2019. Acesso em: 11 set. 2020.

CFM INTERNATIONAL. **Leap Engines**. s/d. Disponível em: <<https://www.cfmaeroengines.com/engines/leap/>>. Acesso em: 9 out. 2020.

EMBRAER. **Embraer lanca E2 a segunda geracao de EJets**, 2013. Disponível em: <<https://embraer.com/br/pt/noticias?slug=409-embraer-lanca-e2-a-segunda-geracao-de-ejets>>. Acesso em: 9 out. 2020.

_____. **O que significa voar em uma aeronave silenciosa**. 2019. Disponível em: <<https://journalofwonder.embraer.com/br/pt/159-o-que-significa-voar-em-uma-aeronave-silenciosa>>. Acesso em: 9 out. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA (INFRAERO). **Aeroporto de São Paulo**: Congonhas, 2018. Disponível em: <<http://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-de-sao-paulo-congonhas-deputado-freitas-nobre/sobre-o-aeroporto/caracteristicas/>>. Acesso em: 12 set. 2020.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **Nikolaus Otto**. 1998. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Nikolaus-Otto>>. Acesso em: 3 abr. 2020.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. FAA. Office of Environment and Energy. **Aviation Emissions, Impacts & Mitigation**: a primer. Jan 2015. Disponível em: <https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/Primer_Jan2015.pdf>. Acesso em: 10 set. 2020.

FIGUEIREDO, L. A. **Motores e combustíveis de aviação**. 2013. Aeromagazine. Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/motores-e-combustiveis-de-aviacao_808.html>. Acesso em: 4 set. 2020.

GALLO, R. Barulho de Congonhas em nível inaceitável afeta 31 mil. **Folha de S. Paulo**, 2011. Disponível em:

<<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff0406201101.htm#:~:text=Conclu%C3%Ado%20na%20%C3%Baltima%20ter%C3%A7a%2Dfeira,segundo%20maior%20ae%20porto%20do%20pa%C3%Ads.>>. Acesso em: 8 set. 2020.

HOMA, J. M. **Aeronaves e Motores**. 27. Ed. São Paulo: ASA, 2007. Cap. Motores a Reação, p. 140-154.

HOYTE, J. Síndrome aerotóxica, o segredo mais bem guardado da aviação. **Revista Nexus**, Fev-Mar 2010. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/view/12798563/sindrome-aerotoxica-o-segredo-mais-bem-guardado-da-aviacao>. Acesso em: 12 set. 2020.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Doc. 9829 AN/451**. 2ª Edição. 2008. *Balanced Approach to Aircraft Noise Management*, 2004. Disponível em: <https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/Env-Seminars-Lima-Mexico/Lima/11_ICAO_BalancedApproach_NoiseManagement.pdf>. Acesso em: 7 out. 2020.

_____. **Environment Report**. 2016. *On board: a sustainable future*. Disponível em: <<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2020.

_____. **Environment Report**. 2019. *Destination green: The Next Chapter*. Disponível em: <<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2020.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION (IATA). **Technology Roadmap** –. Ed. 4, 2013. Disponível em: <<https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/technology-roadmap-2013.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2020.

KHALILI, A. El. **O que são créditos de carbono?** Ambiente Brasil: Curitiba, 2003.

KLOTZEL, E. **O efeito da aviação no clima global**. 2018. Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/o-efeito-da-aviacao-no-clima-global_3992.html>. Acesso em: 4 set. 2020.

LIMA, F. J. C. et al. Inseticida organofosforado metamidofós: aspectos toxicológicos e analíticos. **Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 11, jan./dez. 2001. MONTEIRO, R. F. **Aviação: construindo a sua história**. Goiânia, Goiás: Editora UCG, 2002.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Governo brasileiro e PNUD lançam na Alemanha publicação sobre créditos de carbono**. 2017. Disponível em: Disponível em: <<https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/ods/guia-sobre--mecanismos-voluntarios-de-compensacao-individual-de-.html>>. Acesso em: 27 set. 2020.

PESSOA, G. **Ruído aeronáutico: impactos e perspectivas atuais**, 2016. Disponível em: <https://pt2.slideshare.net/elmerpessoa9/gabriel-gueiros-artigo-cincias-aeronuticas?from_action=save>. Acesso em: 7 out. 2020.

RANCH TEAM. **Road Traffic and Aircraft Noise Exposure and Children's Cognition and Health: Exposure-Effect Relationships and Combined Effects**. Disponível em: <http://archive.wolfson.qmul.ac.uk/RANCH_Project/publications/FinalDraftGlossy_220405.pdf>. Acesso em: 11 set. 2020.

ROCHA, A. C.; MARTINS, M. P. P.; SANTOS, C. B. **Estimativa das emissões de dióxido de carbono proveniente da aviação civil regular em um dia específico**. 2012. Disponível em: <https://www.redemet.aer.mil.br/uploads/2014/04/IV_Workshop_de_Mudan%C3%A7a_a_Clim%C3%A1ticas_2_redemet.pdf>. Acesso em: 11 set. 2020.

SILVA, A. F. **O que são os contrails, e qual a causa deles existirem?** 2020. Disponível em: <<https://www.aeroflap.com.br/o-que-são-os-contrails-e-qual-a-causa-deles-existirem/>>. Acesso em: 9 set. 2020.

VIANNA, C. T. **Classificação das pesquisas científicas: Notas para os alunos**. Florianópolis: 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/343532633_Professor_CLEVERSON_TAJARA_VIAN>. Acesso em: 20 out. 2020.

YE, Dan; LI, Jun; TANG, Jau. **Jet Propulsion by Microwave Air Plasma in The Atmosphere**. AIP Advances 10, 055002, 2020. Disponível em: <<https://aip.scitation.org/doi/full/10.1063/5.0005814>>. Acesso em: 5 out. 2020.