
Impacto do Envelhecimento da Frota Brasileira na Segurança de Voo

Josenei Godoi de Medeiros ¹, Fabiano Hernandez, Mariany Aline Antunes, Victor Silvano Costa, Cainã Renó Faria, Donizeti de Andrade

¹ joseneigodoi@yahoo.com.br

RESUMO: A idade cronológica de uma aeronave é relevante para a segurança de voo, sendo que a probabilidade de falha estrutural ou de outros componentes da aeronave aumenta com o seu envelhecimento. Este envelhecimento está ligado diretamente, não só a idade cronológica, mas também a outros fatores como o número de ciclos de voo e o número de horas de voo. A idade cronológica é, portanto, importante para se avaliar o desgaste de componentes e efeitos corrosivos ligados diretamente a ação do tempo. Dessa forma, este artigo apresenta a idade cronológica das aeronaves atuantes no Brasil com base nos dados fornecidos pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) e a sua influência na segurança de voo, abordando acidentes aéreos ligados à esta característica, a evolução das normas regulamentadoras em relação ao envelhecimento e a idade das aeronaves que operam em alguns países. Observou-se que a idade média da frota de aeronaves atuantes no Brasil é de aproximadamente 8 anos, inferior à encontrada em países como Estados Unidos e Austrália que possuem aeronaves com idade média de 14 e 11 anos, respectivamente.

Palavras Chave: Segurança de voo. Aeronaves. Aviação civil.

Impact of the Brazilian Fleet Aging on Flight Safety

ABSTRACT: The chronological age of an aircraft is relevant to flight safety, and the probability of failure affecting the aircraft structure or other components increases with aging. This issue is directly connected not only to the chronological age, but also to other factors such as the number of flight cycles and the number of flight hours. All the same, chronological age is important to assessing the wear of components and the corrosive effects directly related to the action of time. Thus, this article presents the chronological age of the aircraft operating in Brazil based on data provided by ANAC and the influence of aging on flight safety, addressing aviation accidents linked to this feature, the evolution of the regulatory standards in relation to aging and to the age of aircraft operating in some countries. The average age of the Brazilian fleet is 8 years, lower than the average found in countries like the US and Australia (14 and 11 years, respectively).

Key words: Flight safety. Aircraft. Civil aviation.

Citação: Medeiros, JG, Hernandez, F, Antunes, MA, Costa, VS, Faria, CR, Anndrade, D. (2017) Impacto do Envelhecimento da Frota Brasileira na Segurança de Voo. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 8, No. 1, pp. 25-32.

1 INTRODUÇÃO

Determinar a idade das aeronaves atuantes no Brasil é uma tarefa difícil, pois a mesma está relacionada a diversos fatores, tais como a idade cronológica, o número de ciclos de voo e o número de horas de voo. A idade cronológica é particularmente relevante para a corrosão e para o desgaste dos componentes, pois para ambos há um aumento dos efeitos ao longo do tempo. O número de ciclos (onde um ciclo vale uma decolagem e um pouso) vai causar danos por fadiga nas estruturas principais das aeronaves (asa, fuselagem, empenagem, e outros componentes estruturais). O número de horas de voo também pode estar associado à fadiga e por isso é outra medida importante da idade de uma aeronave.

Alguns acidentes aéreos ao redor do mundo já tiveram como fator contribuinte o envelhecimento das aeronaves (Wanhill, 2002). Esses acidentes implicaram em grandes mudanças na regulação - principalmente nos aspectos estruturais (Eastin and Sippel, 2012) e sistema de combustível - seja para as aeronaves em operação ou novas (projetos com datas posteriores aos novos requisitos).

Tais eventos demonstram as implicações na segurança de voo resultantes do envelhecimento das aeronaves e ainda confirmam a importância de programas eficazes de aeronavegabilidade continuada, bem como motivam o interesse do assunto por agências reguladoras (ATSB, 2007).

Este artigo tem como objetivo apresentar um dos fatores que determinam a idade da frota brasileira, sua idade cronológica, e também a influência que o envelhecimento tem sobre a segurança de voo.

2 METODOLOGIA

2.1 Histórico

2.1.1 TWA (FAA, 2013)

O acidente com o TWA-800 (Reg. N° N93119) que aconteceu em julho de 1996, quando o Boeing 747 de 24 anos e 11 meses de idade e com 93.303 horas de voo, que partia de Nova York para Paris caiu no Oceano Atlântico, resultando na morte de todos os 212 passageiros e 18 tripulantes a bordo.

As investigações do NTSB (*National Transportation Safety Board*) (NTSB, 2000) concluíram que o acidente foi ocasionado pela explosão do tanque de combustível central da aeronave e que fatores de projeto, operacionais e de certificação contribuíram para aumentar o risco de ignição no interior daquela região.

No que tange aos aspectos de projeto e operacionais, a proximidade do tanque de combustível com o trocador de calor do sistema de ar-condicionado e o baixo nível de combustível no tanque central criaram uma atmosfera altamente inflamável.

Por sua vez, a formação de arco elétrico dentro do tanque não deveria ser possível de ocorrer, mas o conceito de certificação do tanque de combustível na época não levava em conta a deterioração das propriedades dos seus componentes internos.

Como essa deterioração dos componentes com o uso não era levada em consideração, não havia qualquer tipo de atividade de manutenção programada para determinar se os sensores de nível do tanque mantinham as propriedades de proteção à formação de arco elétrico para as quais foram qualificados, caracterizando um cenário de falha latente indetectável. A combinação da falha latente de um desses sensores com um curto-circuito da cablagem do avião foi, segundo o NTSB, responsável pela ignição dentro do tanque do Boeing.

2.1.2 Aloha Airlines (FAA, 2013)

O caso do voo 243 da Aloha Airlines aconteceu em abril de 1988. Esta aeronave possuía 19 anos de idade, 89.680 ciclos e 35.496 horas de voo, quando uma parte da fuselagem do Boeing 737 que voava de Hilo para Honolulu se despreendeu, ocasionando uma descompressão explosiva que arremessou uma aeromoça para fora da aeronave e obrigou o piloto a fazer um pouso de emergência.

As investigações do NTSB (NTSB, 1989) concluíram que a causa do acidente foi à falha do programa de manutenção da companhia em detectar danos significativos e fadigas na fuselagem, que levaram a falha da junta S.10L e a separação da parte superior da fuselagem.

Foi levantado que o número de horas voos ou de ciclos, do Boeing 737 do voo 243, ultrapassaram os estabelecidos pelo fabricante que era de 34.000 horas ou 34.000 ciclos, o que ocorrer primeiro. Como os fenômenos de compressão e descompressão da fuselagem estão intimamente ligados aos ciclos de voo, essa era uma falta grave com relação às premissas iniciais dos valores recomendados pelo fabricante. Além disso, a qualidade das inspeções realizadas não era compatível com os danos que estas inspeções deveriam ter capacidade de detectar – isto é degradação da colagem e trincas múltiplas na junção.

Todos esses fatores aliados a um processo de fabricação complicado e pouco robusto contribuíram para o desenvolvimento silencioso de falhas na camada adesiva, levando ao desenvolvimento de trincas muito pequenas nas imediações dos rebites responsáveis pela junção entre os painéis da fuselagem, caracterizando um cenário de MSD (*Multi-Site Damage* - presença simultânea de trincas por fadiga no mesmo elemento estrutural).

Os níveis de MSD apresentados no voo da Aloha foram severos o bastante para resultar em um WFD (*Widespread Fatigue Damage* - Dano Generalizado por Fadiga), condição na qual a estrutura deixa de possuir a resistência residual necessária para manter sua integridade.

2.1.3 EMB-201 (CENIPA, 2011)

Um incidente envolvendo aspectos de desgaste de aeronaves no setor aero-agrícola brasileiro ocorreu em janeiro de 2011 quando um modelo Ipanema EMB-201, aeronave agrícola utilizada para pulverização de plantações, perdeu a asa esquerda durante o voo ocasionando em perda de controle, queda da aeronave e falecimento do piloto.

A aeronave havia sido fabricada em 1975, portanto com 36 anos, e cerca de 6200h de voo, já tinha registro de acidentes anteriores, tendo inclusive permanecido por longos períodos sem uso e pertencido a mais de um operador. Todos esses fatores contribuíram para um controle ruim das atividades de manutenção e levantam dúvidas acerca da qualidade dos procedimentos realizados e da integridade da aeronave como um todo.

As investigações conduzidas pelo CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos) (CENIPA, 2011) concluíram que a falha estrutural da asa iniciou por uma trinca formada em razão de cavidades de corrosão, que acabou evoluindo para uma condição de fadiga do material da longarina.

2.1.4 Evolução da Regulação do Envelhecimento das Aeronaves

Embora o conceito de envelhecimento de aeronaves esteja normalmente relacionado à fadiga estrutural, houve também outras preocupações históricas que, se não alvo específico deste trabalho, merecem menção. Além da preocupação com envelhecimento da estrutura da aeronave, existem também aspectos relacionados à cablagem e inflamabilidade nos tanques de combustíveis.

Os dois principais acidentes relacionados a envelhecimento de aeronaves são o Aloha 243 e TWA 800, já resumidos neste trabalho. Tais acidentes promoveram a criação pela autoridade de aviação civil estadunidense, FAA (*Federal Aviation*

Administration), de um grupo de trabalho relacionado ao envelhecimento de aeronaves (AAWG – *Airworthiness Assurance Working Group*), que estabeleceu diversas ações relacionadas ao tema.

Um dos resultados principais deste grupo de trabalho é a criação, e emissão, a partir de 2007, do regulamento de aviação civil 14 CFR Part 26 - CONTINUED AIRWORTHINESS AND SAFETY IMPROVEMENTS FOR TRANSPORT CATEGORY AIRPLANES (EUA, 2017) com propósito de restaurar ou prover segurança operacional a aeronaves envelhecidas estabelecendo requisitos associados ao envelhecimento de aeronaves nas três preocupações anteriormente relacionadas: fadiga estrutural, cablagens, e inflamabilidade nos tanques de combustível; cujo correspondente foi emitido pela ANAC em 2010 - Regulamento Brasileiros da Aviação Civil (RBAC) nº 26 - AERONAVEGABILIDADE CONTINUADA E MELHORIAS NA SEGURANÇA PARA AVIÕES CATEGORIA TRANSPORTE (ANAC, 2013). Ressalta-se que este regulamento, RBAC 26, aplica-se a aeronaves categoria transporte; para outras categorias de aeronaves ainda não existe regulamento similar. A autoridade europeia, EASA, também pretende publicar regra similar, cuja proposta de regra já foi emitida (EASA, 2013).

É estabelecido pela subparte B do RBAC 26 que um programa, de manutenção das interconexões dos sistemas de cablagens (EWIS - *Electrical Wiring Interconnection System*) das aeronaves afetadas por este requisito, seja desenvolvido pelo detentor do certificado de tipo da aeronave. O surgimento do conceito de EWIS na aviação é recente - a fiação elétrica de um avião, incluindo todos os seus acessórios e elementos agregados passou a ser considerada como um sistema, e os regulamentos do FAA foram revisados de modo a incluir os requisitos aplicáveis a este novo sistema.

A subparte D do RBAC 26 requer uma análise da exposição à inflamabilidade de todos os tanques de combustível do projeto de tipo para as aeronaves afetadas por este requisito. A investigação do acidente com o voo TWA 800, indicou que o tanque central de combustível explodiu devido a uma fonte de ignição desconhecida. O NTSB emitiu recomendações destinadas a reduzir o aquecimento do combustível nos tanques centrais em toda a frota de aviões de transporte, reduzir ou eliminar a operação com vapores inflamáveis em tanques de combustível de aeronaves em processo de obtenção de certificado de tipo, e também para reavaliar o sistema de combustível quanto ao projeto e quanto às suas práticas de manutenção na frota de aviões de transporte.

Este acidente levou também a FAA a examinar as questões de segurança relativas a ocorrências de explosões de tanques de combustível, à adequabilidade da regulamentação existente, ao histórico da vida em serviço de aviões certificados conforme aqueles regulamentos, e práticas de manutenção utilizadas em sistemas de combustível. Foi, então, emitido o SFAR (*Special Federal Aviation Regulations*) 88, em 2001 (EUA, 2001), com equivalente Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica Especial 88 (RBHA-E 88) “Requisitos para Avaliação de Tolerância para Falhas do Sistema de Tanques de Combustível” (DAC, 2001) que adota o original estadunidense.

As subpartes C e E RBAC 26 estão relacionadas a dano generalizado por fadiga, ou WFD (*widespread fatigue damage*), e dados de tolerância ao dano para reparos e alterações respectivamente. Tais subpartes refletem, para aeronaves já em operação, requisitos existentes para as aeronaves novas. Os requisitos de aeronavegabilidade associados à fadiga que devem ser cumpridos para obter um certificado de tipo de uma aeronave civil (categoria transporte) estão contidos no §25.571 do RBAC 25 - Requisitos de aeronavegabilidade: aviões categoria transporte (ANAC, 2014), que adota integralmente o 14 CFR PART 25 (EUA, 2017). O principal objetivo deste requisito sempre foi o de evitar falhas catastróficas devido à fadiga estrutural durante a vida operacional da aeronave. No entanto, ao longo dos anos, as exigências mudaram acompanhando a base de conhecimentos sobre fadiga estrutural em aeronaves.

Existem três estratégias fundamentais de tratamento da fadiga estrutural que foram reconhecidas na regulamentação de aeronaves civis como abordagens aceitáveis para prevenir falhas catastróficas devido à fadiga. Elas são comumente referidas como: *Safe-Life* (Vida Limite), *Fail-Safe* (Resistência à Falha), e *Damage-Tolerance* (Tolerância ao Dano). Eastin e Sippel (2012) traz um detalhamento de cada uma dessas estratégias. Além destes três conceitos históricos, a mudanças mais atuais no §25.571 estão relacionadas ao chamado WFD (*widespread fatigue damage*), que é o dano generalizado por fadiga. O WFD também é incluído na Subparte C da última emenda do RBAC 26, datada de 8 de março de 2013.

2.1.5 Área de Estudo

A idade cronológica da aeronave, mesmo sendo apenas um dos fatores ligados ao envelhecimento, é em muitos casos usada como base para a análise das condições da aeronave. Isto se deve ao fato de alguns problemas encontrados nas aeronaves aumentarem com o tempo, como a corrosão (ATSB, 2007).

As aeronaves em operação na Austrália, em sua maioria, possuem idade média de operação de 11 anos (ATSB, 2007). Já as companhias aéreas nos Estados Unidos possuem aeronaves com média de idade de aproximadamente 14 anos, sendo que algumas grandes empresas, como a American Airlines e a Delta/Northwest Airlines, possuem as frotas mais velhas, com idade média de 16 anos (Pawlowski, 2010).

A utilização de aeronaves com idade de operação maior está ligada diretamente aos fatores econômicos, sendo este o principal item que influencia na decisão de substituição da frota por parte das empresas aéreas (Brannen, 1991). Em diversos casos, o uso por longo tempo de uma mesma aeronave é devido aos elevados custos da renovação da frota e em muitos casos as empresas optam por manter as aeronaves em operação após a sua vida útil (ATSB, 2007).

De acordo com o ATSB (Australian Transport Safety Bureau) as aeronaves australianas possuem baixa idade cronológica devido às substituições de frota realizada pelas empresas aéreas, as quais optaram pela compra em vez de gastar recursos financeiros com a manutenção das antigas aeronaves (ATSB, 2007). As operadoras americanas, por sua vez, optam por continuar utilizando as aeronaves, por estarem regulamentadas pelas normas americanas que atualmente são as mais desenvolvidas do mundo em relação à segurança e manutenção (Pawlowski, 2010).

Para que seja possível manter em operação as aeronaves por mais tempo e de forma segura, é necessário que haja um programa de manutenção por parte das empresas aéreas, o qual englobe a detecção de problemas decorrentes do tempo e ciclo de voo, tais como trincas por fadiga e corrosão (Brannen, 1991). Dessa forma, há um controle do envelhecimento e a aeronave pode ser operada além da idade de “aposentadoria” anteriormente esperada.

O programa de manutenção das aeronaves australianas está diretamente ligado às normas da CASA (Civil Aviation Safety Authority) que separa os requisitos de manutenção em duas classes de aeronaves. A classe “A” engloba aeronaves categoria transporte que são utilizadas em operação de transporte regular, enquanto a classe “B” são todas as outras que não classe “A”. Para classe “A” é requerido um programa de manutenção aprovado pela CASA, que considere o programa de manutenção do fabricante bem como outros programas suplementares de inspeção. A classe “B” pode optar pelo uso do programa de manutenção do fabricante, do programa de manutenção da CASA ou por uma combinação desses programas (ATSB, 2007).

O programa de manutenção das aeronaves nos Estados Unidos é determinado através das normas regulamentadoras da FAA (Federal Aviation Administration), a qual determina que os operadores sejam os responsáveis pela manutenção de suas aeronaves e pelas inspeções programadas. Devido aos acidentes ocorridos no EUA, como o do Aloha Airlines 243, a FAA limitou o ciclo de vida de vários aviões comerciais (FAA, 2008), e especificou os requisitos para inspeção do sistema do tanque de combustível em todas as aeronaves a turbina.

O programa de manutenção das aeronaves europeias é regulamentado pela EASA (*European Aviation Safety Agency*), a qual determina que cada operador da aviação comercial é o responsável por manter as aeronaves em operação e também pelo seu programa de manutenção, conforme Part M (EASA, 2015). Além dos itens abordados pelo Part M, as empresas devem seguir a Leaflet N 11: Continued Airworthiness of Ageing Aircraft Structures publicado pela JAA (Joint Aviation Authorities), a qual inclui inspeções estruturais, prevenção e controle de corrosão, modificação de aeronaves antigas, avaliação de reparos e outros.

No Brasil, a ANAC regulamenta os requisitos de operação das aeronaves e dos seus programas de manutenção. O RBAC 121 (REQUISITOS OPERACIONAIS: OPERAÇÕES DOMÉSTICAS, DE BANDEIRA E SUPLEMENTARES) possui requisitos quanto ao plano de manutenção incluindo, como no caso da FAA, requisitos diretamente ligados à manutenção de cabeamento e tanque de combustível. Os requisitos operacionais associados ao envelhecimento de aeronaves estão na subparte AA do RBAC 121, seções 121.1101 a 121.1117.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A frota brasileira (RAB, 2017), considerando transporte aéreo regular, é relativamente nova, sendo a média de idade das aeronaves de aproximadamente de oito anos. A frota nacional, considerando aeronaves com Certificado de Aeronavegabilidade em situação normal, possui 9556 aeronaves, que possuem uma média de 23,8 anos. Deste total ressaltamos 477 operando na categoria de transporte regular e 604 operando táxi-aéreo (com média de idade de 23 anos).

Os gráficos, mostrados nas figuras de 1 a 4, são gerados a partir de dados disponíveis no site da ANAC (RAB, 2017) e ajudam a entender melhor o panorama de envelhecimento da frota brasileira e a compreender melhor a necessidade dos planos de manutenção e onde eles devem se focar.

A idade média das frotas varia de acordo com o operador, sendo que a Abaeté Linhas Aéreas tem a frota mais velha, com idade média de 42 anos e a Oceanair Linhas Aéreas S.A. com a frota mais nova, com média de 4,56 anos, que é reflexo da idade da própria companhia e de investimentos recentes, como ilustrado na Figura 1.

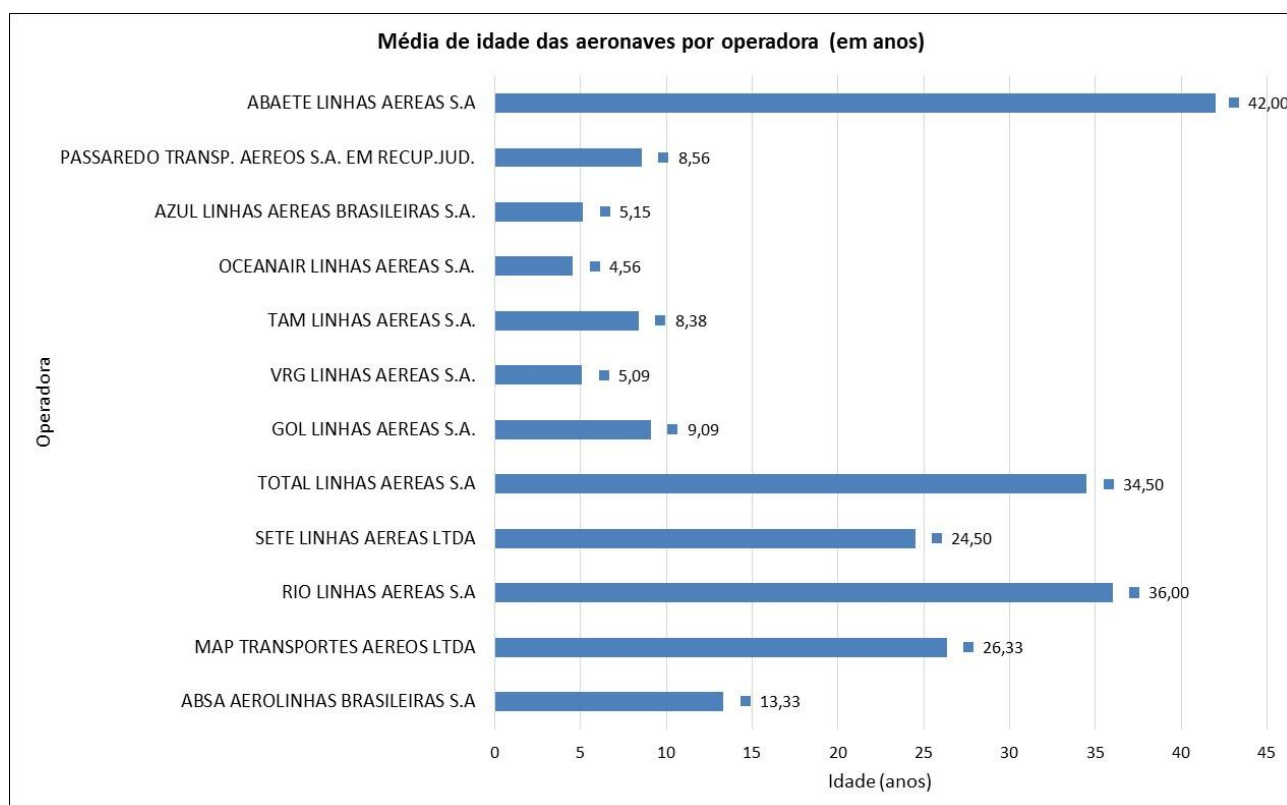


Figura 1: Média de idade das aeronaves por operadora. (RAB,2014)

É importante notar que mesmo em uma companhia cuja média de idade das aeronaves é baixa, é preciso manter a atenção no que diz respeito ao envelhecimento das aeronaves, posto que a mesma pode ter aeronaves em idade mais elevada, mesmo que em número menor, como ilustrado na Figura 2.

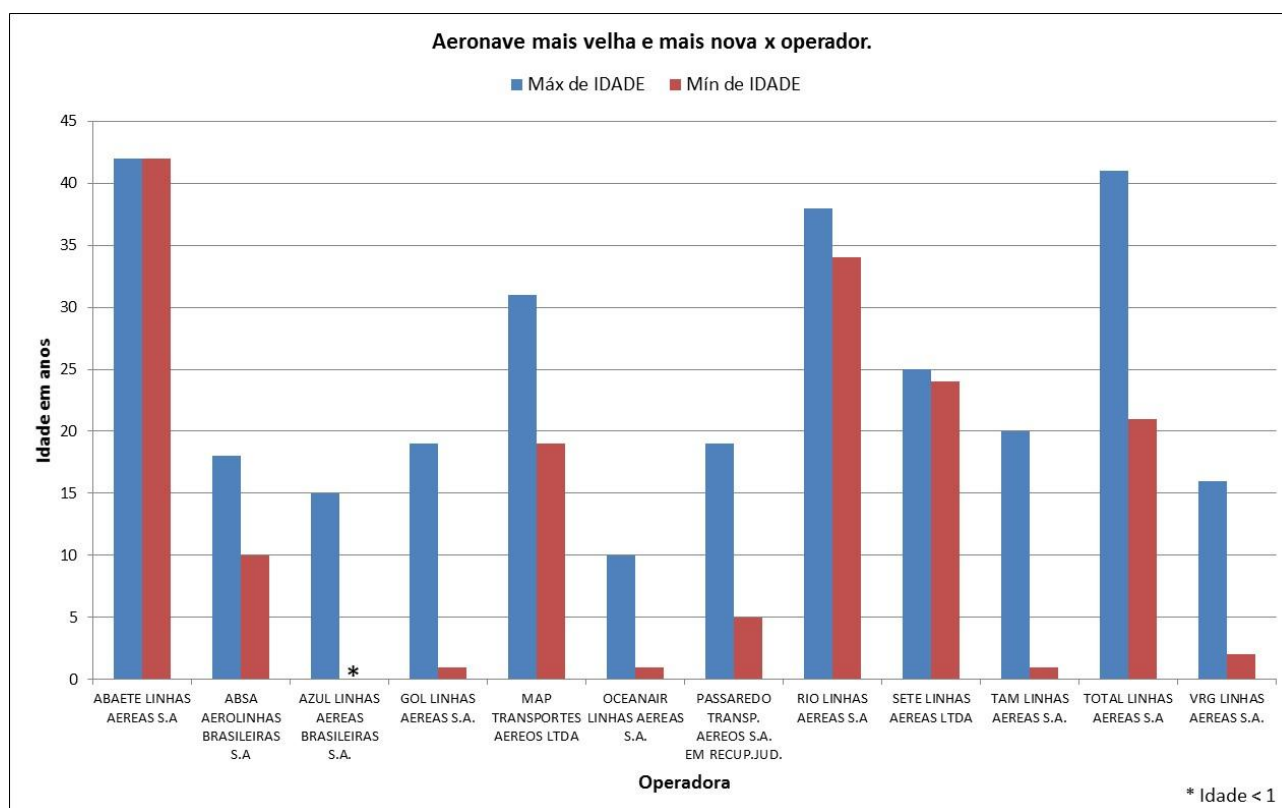


Figura 2: Aeronave mais velha e mais nova de acordo com operador. (RAB,2014)

No que se refere à média de idade de acordo com o fabricante, as aeronaves mais velhas do Brasil são da Boeing, com média de idade de 9,44 anos e as mais novas são aviões da Embraer, com média de 6,45 anos, Figura 3. É interessante notar que a tendência de menor idade está fortemente correlacionada com o operador em questão, já que boa parte dos aviões da Azul Linhas Aéreas são jatos produzidos pela Embraer.

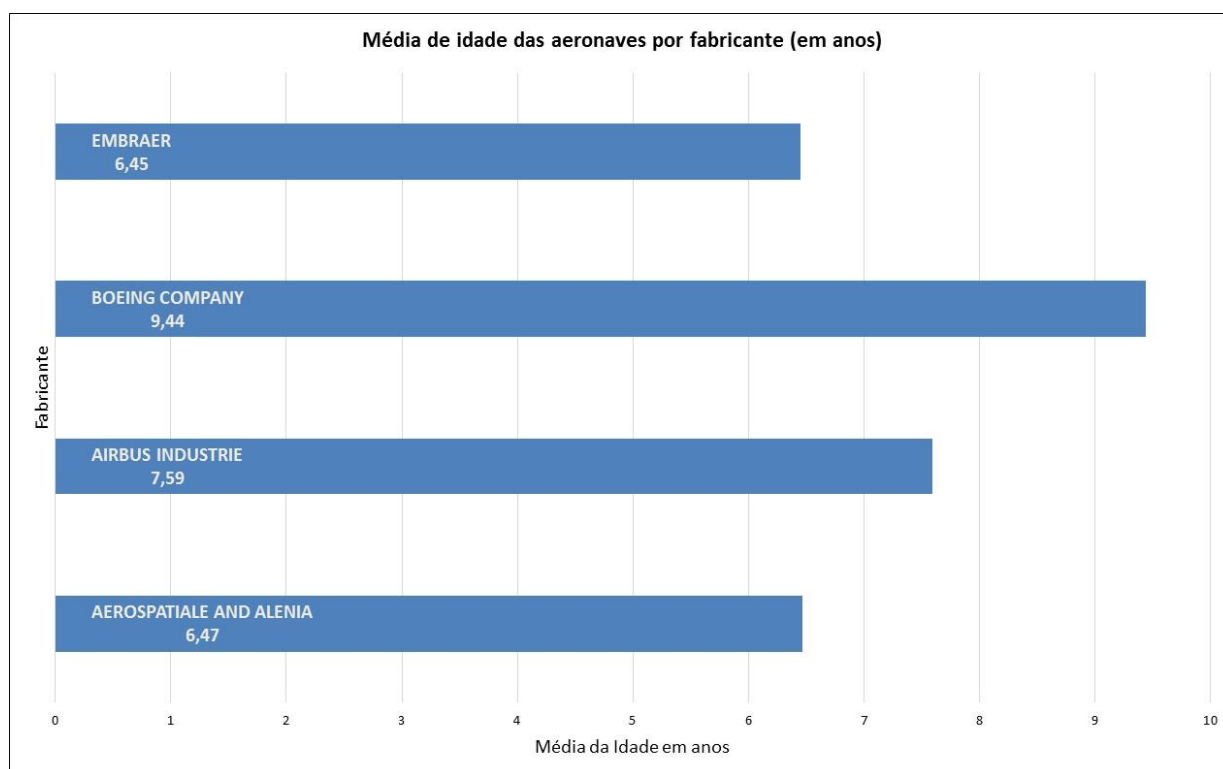


Figura3: Média de idade das aeronaves por fabricante. (RAB,2014)

Da mesma forma essa lógica, se aplica à maior média de idade, pois a Abaeté Aéreas, operador com aeronaves de maior média de idade, possui apenas uma aeronave da Boeing com idade de 42 anos. Até mesmo a segunda maior média de idade, a operadora Total Linhas Aéreas, possui a aeronaves com maior idade produzidas pela Boeing e uma somente uma aeronave produzida.

A VRG Linhas Aéreas S.A., conhecida comercialmente como Gol Linha Aéreas, tem sua frota composta por Boeing 737, com média de idade de 7 anos. Algumas dessas aeronaves não possuem nem dois anos de operação, enquanto outras chegam próximas aos 15 anos, como apresentado na Figura 4. Já a TAM linha Aéreas possui sua frota composta basicamente por Airbus A320 com idades que variam desde 1 a 20 anos, com média de idade de 8 anos. Estes dados indicam para ambas companhias aéreas que há uma renovação de suas frotas, pois é possível encontrar um número considerável de aeronaves com menos de 5 anos. Esta renovação é feita de acordo com diversos fatores técnicos e econômicos, tendo cada empresa um departamento adequado para esta tomada de decisão.

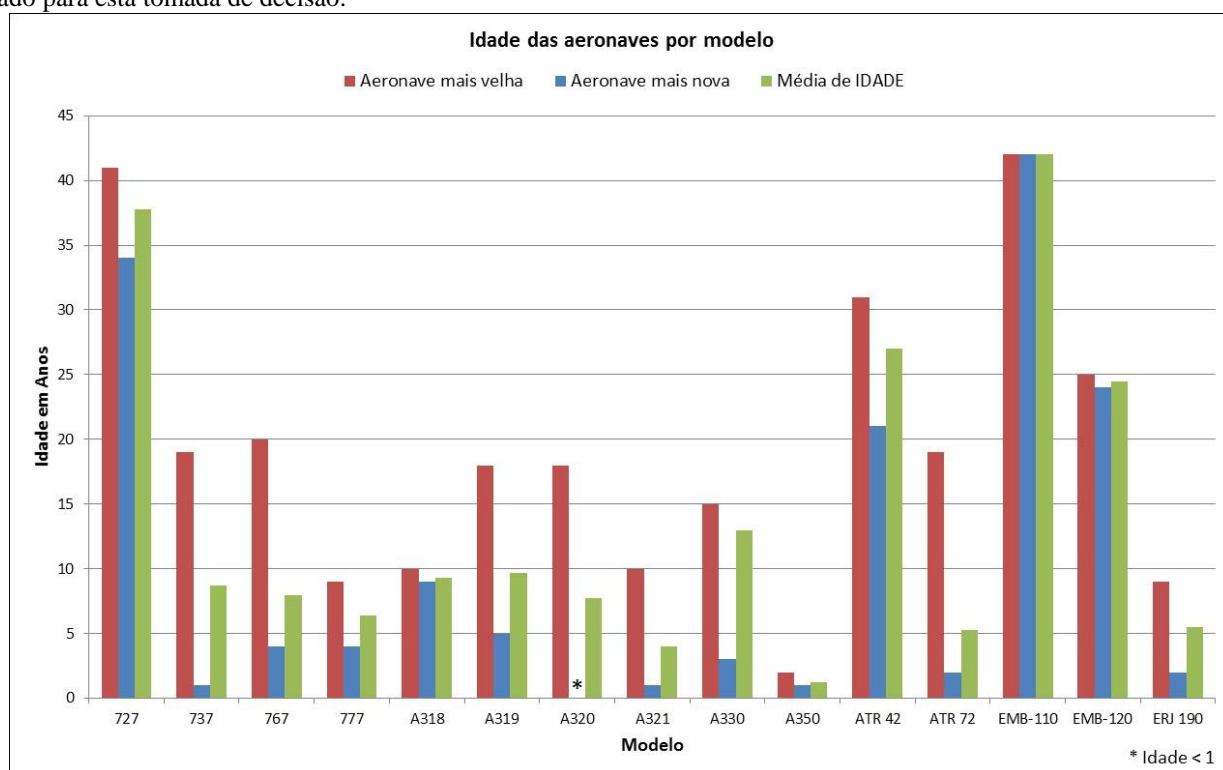


Figura 4: Idade das Aeronaves por Modelo. (RAB,2014)

4 CONCLUSÃO

O envelhecimento das aeronaves é assunto cada vez mais estudado pelas agências reguladoras mundiais, tendo como um dos principais motivos o aumento da frota, o comércio de aeronaves em idade mais avançada entre diferentes países e acidentes tendo como fator contribuinte o estado de envelhecimento das aeronaves. Em diversos países ocorreram acidentes ligados ao estado de envelhecimento, os quais levaram a grandes mudanças nas normas regulamentadoras.

A idade da frota de aeronaves atuantes de transporte regular no Brasil é de aproximadamente 8 anos, inferior ao encontrado em países como Estados Unidos e Austrália que possuem aeronaves com idade média de 14 e 11 anos, respectivamente. Operadoras como a Oceanair Linhas Aéreas S.A., Azul Linhas Aéreas S.A. e VRG Linhas Aéreas S.A. possuem aviões com média aproximada de idade de 5 anos, indicando que houve uma recente renovação da frota. Apesar desta renovação nas aeronaves categoria transporte, são importantes as normas regulamentadoras no Brasil relacionadas ao envelhecimento das aeronaves, para que seja mantida a qualidade das aeronaves antigas.

Sugere-se para trabalhos futuros refinar a pesquisa, considerando categorias de projetos de aeronaves, e categoria de operação, buscar junto aos operadores nacionais uma melhor relação entre ciclos de voo, horas de voo, e idade cronológica, pesquisar eventos no Brasil relacionados ao envelhecimento de aeronaves e como está sendo tratado o descarte das aeronaves envelhecidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSTRÁLIA. Australian Transport Safety Bureau (ATSB). **Aviation Research and Analysis Report - B20050205**: How Old is Too Old? The impact of ageing aircraft on aviation safety. [S.l.: s.n.], 2007. 78 p.
- BRANNEN, E.. The Problem of Aging Aircraft: Is Mandatory Retirement the Answers? *Journal Of Air Law And Commerce*. [s. L.], p. 425-467. 25 nov. 1991.
- BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) 2014**:. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/rab/servicos/certidao_inteiro.asp>. Acesso em: 03 mar. 2017.
- _____. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC 25**: Requisitos de aeronavegabilidade. Brasília, 2013. 300 p.
- _____. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC 26**: Aeronavegabilidade continuada e melhorias na segurança para aviões categoria transporte. Brasília, 2013.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **RELATÓRIO FINAL A – n° 088**. Brasília, 2011.
- _____. Comando da Aeronáutica. Departamento de Aviação Civil (DAC). **Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica Especial 88**: requisitos para avaliação de tolerância para falhas do sistema de tanques de combustível. DOU, 27 Ago 2001.
- EASTIN, R. G.; SIPEEL, W. The “WFD rule” - have we come full circle? In: 2011 USAF AIRCRAFT STRUCTURAL INTEGRITY CONFERENCE , 29th November. **Proceedings...** Texas: San Antonio, 2011.
- ESTADOS UNIDOS. **Code of Federal Regulations, Title 14 - Aeronautics and Space, Part 25** - Airworthiness standards: transport category airplanes. Washington. 2017.
- _____. **Code of Federal Regulations, Title 14, Aeronautics and Space, Part 26**: Continued Airworthiness and safety improvements for transport category airplanes. Washington, 2017.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Transportation. Federal Aviation Administration (FAA). **DOCKET N°. FAA-1999-6411**: Special Federal Aviation Regulation. Washington, 2001.
- _____. Department of Transportation. Federal Aviation Administration (FAA). Lessons Learned from Civil Aviation Accidents. **TWA Flight 800, Boeing 747-100, N93119**. Disponível em: <http://lessonslearned.faa.gov/ll_main.cfm?TabID=3&CategoryID=2&LLID=21>. Acesso em: nov. 2015.
- _____. Department of Transportation. Federal Aviation Administration (FAA). Lessons Learned from Civil Aviation Accidents. **Aloha Airlines Flight 243, Boeing 737-200, N73711**. Disponível em: <http://lessonslearned.faa.gov/ll_main.cfm?TabID=3&CategoryID=7&LLID=20> Acesso em: nov. 2015.
- _____. Department of Transportation. Federal Aviation Administration (FAA). **Aviation Maintenance Technician Handbook - General**. Airmen Testing Standards Branch, Washington. 2008.
- ESTADOS UNIDOS. National Transportation Safety Board (NTSB). **Aircraft Accident Report**: Aloha Airlines Flight 243, Boeing 737-200, N73711, Near Maui, Hawaii, April 28, 1988. NTSB, Washington, DC, 1989. 295 p.
- _____. National Transportation Safety Board (NTSB). **Aircraft Accident Report NTSB/AAR-00/03**: In-flight Breakup Over The Atlantic Ocean, Trans World Airlines Flight 800, Boeing 747-131, N93119, Near East Moriches, New York, July 17, 1996. Washington. 2000.
- EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY (EASA). **Notice of Proposed Amendment 2013-07**. Ageing aircraft structures. 2013. 203 p.

-
- _____. **Annex I to the Executive Direction Decision 2015/029/R**: Continuing airworthiness requirements, Part-M - AMC/GM, Issue 2. 2015. 253 p.
- HERRERA, J.M.; VASIGH, B. A Basic Analysis of Aging Aircraft, Region of the World, and Accidents. **Journal Of Business & Economics Research (JBER)**. [S. l.], p. 121-132. 05 jul. 2009.
- LINCOLN, J.W. Managing the Aging Aircraft Problem. **Defense Technical Information Center Compilation Part Notice ADP014059**. 2011. 9 p.
- PAWLOWSKI, C. **How old is the plane you're flying on?** 2010. Disponível em: <http://edition.cnn.com/2010/TRAVEL/02/01/planes.age.dreamliner/>. Acesso em 09 nov. de 2015.
- WANHILL, R. J. H. Milestone Case Histories in Aircraft Structural Integrity, NLR-TP-2002-521. In: ELSEVIER SCIENCE. **Comprehensive Structural Integrity**. Holanda, Amsterdam: Elsevier Science, 2002. 25 p.