



Instituto Superior de Gestão

Mestrado em Estratégias de Investimento e Internacionalização

Indústria Aeronáutica mais ecológica.

Ana Isabel Mendes Gomes

Dissertação de Mestrado para obtenção do Grau de
Mestre em Estratégia de Investimento e Internacionalização.

Orientador: Professor Doutor Luís Sequeira

Lisboa

Dezembro 2023

Resumo

O sector dos transportes tem um papel importante na economia global e como o mesmo é movido maioritariamente a combustível de origem fóssil, como petróleo, gera emissões de CO₂ para a atmosfera. Este sector para além das emissões de CO₂, também produz emissões de óxido de azoto e enxofre, vapores de água e ainda poluição sonora, potenciando desta forma o aumento da camada de ozono.

Neste sentido o estudo para elaborar este projeto foi efetuado através da análise qualitativa da pesquisa descrita em artigos fontes secundárias, para se entender o que a Indústria Aeronáutica se encontra a fazer para tornar as aeronaves mais ecológicas e neutralizar as emissões de CO₂ até 2050, como é previsto pelo LTAG (Long Term Aspirational Goal).

Os principais resultados mostram que a Indústria está empenhada em atingir esta meta, ainda há um longo caminho, pelo que até 2050 para o longo curso não será possível neutralizar as emissões de CO₂, mas sim reduzi-las utilizando combustível sustentável e hidrogénio, enquanto que nas restantes categorias será possível ter motores elétricos. Neste sentido seria interessante existir no futuro estudos sobre aplicação de IA nas aeronaves ou subcomponentes, para ajudar a diminuir ou neutralizar as emissões geradas.

Palavras-Chave: Emissões de CO₂, aeronáutica, tecnologia e sustentabilidade.

Summary

The transport sector plays an important role in the global economy and as it is mostly powered by fossil fuels such as oil, it generates CO₂ emissions into the atmosphere. In addition to CO₂ emissions, this sector also produces nitrogen oxide and sulphur emissions, water vapors and noise pollution, thereby increasing the ozone layer.

In this sense, the study for this project was carried out through qualitative analysis of the research described in articles from secondary sources, in order to understand what the aeronautical industry is doing to make aircraft more environmentally friendly and neutralize CO₂ emissions by 2050, as envisaged by the LTAG (Long Term Aspirational Goal).

The main results show that the industry is committed to achieving this goal, but there is still a long way to go, so by 2050 for long-haul aircraft it will not be possible to neutralize CO₂ emissions, but to reduce them using sustainable fuel and hydrogen, while in the remaining categories it will be possible to have electric engines. In this sense, it would be interesting to see future studies on the application of AI in aircraft or sub-components, to help reduce or neutralize the emissions generated.

Key words: CO₂ emissions, aeronautics, technology and sustainability.

Agradecimentos

A conclusão deste projeto foi um caminho longo de percorrer, devido à falta de disponibilidade temporal da minha parte e como tal, neste momento pretendo prestar o meu grande agradecimento a todos os que me ajudaram a chegar aqui e fizeram com que este momento fosse tornado realidade. Ao terminar este projeto fico mais perto de adquirir o grau de Mestre.

Sem o apoio, incentivo, força e paciência destas pessoas, não seria de todo possível. Todos os dias me lembravam de que este projeto era importante para atingir o meu objetivo.

Principalmente ao professor Doutor Luís Sequeira, por ter aceite ser meu orientador e por todo o seu apoio, orientação e conhecimento transmitido durante este processo.

À professora Dra. Inês Frazão, por toda a sua disponibilidade, partilha de conhecimento, orientação e o seu apoio. Tendo sido um enorme prazer para mim conhece-la. O meu muito obrigado.

À minha família, pelo seu carinho e apoio.

Ao José Gonçalves, pela sua amizade, o seu apoio e transmissão de conhecimento nesta área de investigação.

Ao Pedro Rodrigues que sempre me incentivou a não desistir.

Ao Fernando Marinho Pereira por todo o seu carinho, apoio e incentivo.

Aos meus colegas de mestrado pelo seu companheirismo e incentivo.

Finalmente à minha mãe que sem ela nada disto seria possível, ela é das pessoas que mais força me dá e mais me incentiva a chegar mais longe, apoiando-me incondicionalmente e me mostrando que não se deve desistir do que realmente queremos e aos meus animais de estimação pelo seu amor.

Muito obrigado a todos pela vossa paciência.

Ana Gomes

Lista de abreviaturas e siglas

BWB	<i>Blended-Wing Body</i>
CFRP	Plástico Reforçado com Fibra de Carbono
CO2	Dióxido de Carbono
CORSIA	Esquema Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional
EASA	European Union Aviation Safety Agency
FAA	Federal Aviation Administration
GEE	Gases de efeito de estufa
H2O	Vapor de água
IA	Inteligência Artificial
IATA	<i>Internacional Air Transport Association</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
INEGI	Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial
ISQ	Instituto de Soldadura e Qualidade
I&D	Investigação e Desenvolvimento
LTAG	<i>Long Term Global Aspirational Goal</i>
MW	MegaWhat
NOx	Óxido de Azoto
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
RFI	<i>Radiative Forcing Index</i>
SAF	<i>Sustainable Aviation Fuel</i> (Combustível Sustentável de Aviação)
TPNG	<i>Turboprop New Generation</i>
SOx	Óxido de Enxofre

UE

União Europeia

Índice

Resumo	II
Summary	III
Agradecimentos	IV
Lista de abreviaturas e siglas	V
Índice	VII
Índice de Figuras	VIII
Índice de Tabelas	VIII
1. Introdução	1
1.1. Estrutura do trabalho	3
1.2. Motivação	3
1.3. Contextualização	5
2. Revisão da Literatura	7
2.1. Indústria Aeronáutica em Geral	7
2.2. Indústria Aeronáutica Comercial	9
2.3. Impacto Ambiental	11
2.4. ICAO (Organização da Aviação Civil Internacional)	17
3. Método	19
4. Resultados	23
4.1. Evolução ecológica da Indústria aeronáutica	23
4.2. Desafios que a indústria irá enfrentar	48
5. Discussão	55
6. Conclusão	58
7. Bibliografia	60
8. Webgrafia	65

Índice de Figuras

Figura 1: Transporte no mundo, emissões por modo	6
Figura 2: Emissões totais de gases com efeito de estufa da Agência Europeia do Ambiente	15
Figura 3: A evolução das emissões na EU por setor, entre 1990 e 2030 da Agência Europeia do Ambiente	16
Figura 4: Desenho da Investigação	21
Figura 5: Materiais utilizados na construção do Boeing 787	25
Figura 6: Foto ATR.	30
Figura 7: Motor híbrido-elétrico operado pela Azul em parceria com a Ampire para colocar nos Cessna Grand Caravan para rotas regionais	35
Figura 8: Cessna Grand Caravan da companhia Azul, foto da Asas Brasil Magazine	36
Figura 9: Motor elétrico por células de combustível de hidrogênio, Airbus (2022), por Gousse, H	41
Figura 10: ZEROe Turbofan Concept.....	42
Figura 11: ZEROe Turboprop Concept	43
Figura 12: ZEROe Blended-Wing Body Concept	43
Figura 13: ZEROe Fully electrical Concept	44
Figura 14: Aeronave TPNG	45
Figura 15: Aeronave Energia H2 Gas Turbine	45
Figura 16: Aeronave Energia Electric E9-FE.....	46
Figura 17: Aeronave eVTOL da Eve Air Mobility,	47

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Nível de emissões de gases por aeronave em cada fase de voo, com motor CFMI CFM56 5B7/3	12
Tabela 2: Alternativas zero carbono nas diversas frotas e períodos (Air Transport Action Group, 2021)	19
Tabela 3: Cenários previstos.....	50
Tabela 4: Impacto na redução de emissões de CO2 nos 5 cenários previstos	51

1. Introdução

A indústria aeronáutica tem vindo a sofrer algumas recessões ao longo dos anos, originadas por inúmeros fatores e com a crescente pressão em tornar esta indústria menos poluente a recessão na mesma será mais evidente devido ao caminho que esta tem de percorrer, os seus obstáculos e desafios, bem como todos os investimentos associados à mesma, sendo que tem dado origem a diversas caracterizações, como a célebre afirmação de Sir Adam Thomson:

“Uma recessão é quando se tem de apertar o cinto, uma crise é quando não se tem cinto para apertar. Agora, quando já perdemos as calças, bem... então, sê bem-vindo à aviação comercial.”

--Sir Adam Thomson, antigo presidente da já extinta British Caledonian Airways. (Bom, 2005, p. 6)

Esta afirmação é sustentada pelo prejuízo líquido estimado para 2020, sendo que em junho seria de USD\$ 84,3 mil milhões, contudo em novembro de 2020 foi anunciado que o mesmo ultrapassaria esse valor e a previsão era que o mesmo atingisse US\$ 118,5 mil milhões. Para 2021 o prejuízo líquido estimado será de US\$ 38, 7 mil milhões, sendo que em junho o mesmo era de US\$ 15,8 mil milhões, (IATA, 2020).

A citação acima mencionada parece-nos que descreve na integra a indústria aeronáutica atualmente, uma vez que as empresas de leasing tem tido um papel cada vez mais acentuado nesta indústria, uma vez que dão uma oportunidade às companhias aéreas que não possuem recursos de adquirirem aeronaves novas, permitindo desta forma contribuir para o crescimento do sector aeronáutico, (Güngör, 2022, p. 1).

Mesmo com o impacto negativo da pandemia Covid-19, há que salientar que a aviação comercial tem vindo a crescer e prevê-se que a mesma aumente ainda mais nos próximos anos, pelo que por consequência a poluição gerada pela mesma irá aumentar também, sendo esta poluição em emissões de gases CO2 e outros gases,

assim como a sonora e ainda em resíduos que são originados pelo desmantelamento das aeronaves que são retirados de operação (IATA, 2023).

Nos EUA existem inúmeros estaleiros de aeronaves desmantelados que tem um incontável número de partes e peças das aeronaves a céu aberto.

Numa primeira instância parece que é algo que não afeta em nada o meio ambiente, pois é considerado mais uma sucata, contudo a longo prazo a poluição proveniente da degradação dos materiais que compõem as aeronaves e seus restos, começa a existir, como em todas as sucatas e lixeiras existentes pelo Mundo.

Deste modo, é pretendido durante este trabalho efetuar um estudo do estado de arte sobre o que a Indústria Aeronáutica tem vindo a fazer para tornar as aeronaves mais ecológicas, bem como o que pode ser feito para colmatar os efeitos nocivos para o meio ambiente proveniente deste meio de transporte.

Seguindo uma investigação exploratória, colocamos como ponto de partida compreender a evolução da indústria aeronáutica para se tornar menos poluente. Propondo analisar este problema de investigação através de duas questões de investigação:

Q1) Qual a evolução ecológica da indústria aeronáutica?

Q2) Quais os desafios que a indústria enfrenta para se tornar mais ecológica?

Por forma a responder às questões acima, iremos proceder a um estudo qualitativo de estudos e artigos científicos já efetuados sobre a indústria e o seu impacto ambiental, bem como o sector onde se encontra inserida.

1.1. Estrutura do trabalho

O trabalho encontra-se estruturado em seis partes, sendo que na primeira parte demonstra-se qual o objeto de estudo, a motivação e a contextualização do tema que nos encontramos a estudar.

De seguida, na segunda parte expomos a revisão da literatura, onde é explicado um pouco no que consiste a indústria aeronáutica e o seu impacto em termos ambientais.

Na terceira parte descrevemos o que tem vindo a ser feito para tornar esta indústria mais ecológica, bem como o que a mesma pretende fazer no decorrer dos próximos anos, mais concretamente até 2050.

Na quarta parte são mencionados os resultados provenientes do estudo efetuado, bem como os desafios que esta indústria irá ter no futuro para colocar as modificações projetadas em uso. Sendo que de seguida na quinta parte apresentamos a discussão com as principais conclusões.

Por último numa sexta parte, são referidas as conclusões do estudo realizado.

1.2. Motivação

A aviação é uma área apaixonante e desafiante, sendo que o que a torna ainda mais interessante é o fato de que esta área está constantemente a evoluir, contudo continua a ser um sector que gera emissões de CO₂, tornando-a assim prejudicial ao meio ambiente.

Como a poluição ambiental é um tema atual e que irá continuar a fazer parte no nosso dia a dia no futuro, é relevante entender que o transporte é um sector importante para a nossa sociedade e como tal há que perceber que a indústria aeronáutica desempenha um papel relevante, no que diz respeito à deslocação de pessoas e bens, uma vez que a mesma proporciona que esta deslocação seja feita de forma mais célere que os demais, quer seja de pessoas, carga ou correio.

Veja-se que em 2022 foram movimentados 6.6 mil milhões de passageiros que corresponde a um aumento de 43,8%, e de carga chegaram aos 117 milhões de toneladas que consiste numa redução de 6,7% face a 2021 (ACI World publishes top

20 busiest airports worldwide, s.d.). Em 2021 registou-se um aumento de 6,9% face a 2020 no transporte aéreo de carga de acordo com a *Internacional Air Transport Association* (IATA no seu estudo sobre a movimentação de carga por via aérea e previa que esta tendência se iria manter em 2022 e 2023 (s.d.), uma vez que este aumento foi impulsionado após a pandemia de COVID-19.

A indústria aeronáutica é um sector que gera riqueza, uma vez que potencia o desenvolvimento económico, turístico e o comércio a nível mundial, a indústria aeronáutica também cria empregos, integra todas as comunidades sejam elas pequenas e remotas ou grandes, pois existem aeronaves de todo o tipo para fazer os mais variados trajetos.

Sendo uma indústria que oferece diferentes tipologias de aeronaves e para os mais variados fins, desde o planador, às aeronaves de pequeno porte para formação, lazer, acrobacia ou para uso militar, às aeronaves de grande porte para uso militar e civil para transporte de pessoas e bens. Passando pelos foguetões e as naves espaciais que embora sejam da área aeroespacial, fazem parte da indústria aeronáutica.

A mesma é utilizada no ramo militar, aeroespacial entre outros, sendo que neste ramo são usados nomeadamente como instrumentos de guerra, patrulha, busca e salvamento, transporte de ajuda humanitária, transporte de passageiros e carga.

Em tempos de crise, como a pandemia de Covid-19 a aviação foi o sector que mais ajudou todos os países, uma vez que era necessário transportar carga para que em tempo real mínimo se pudesse satisfazer as necessidades dos países e suas populações, e devido à urgência da mesma foi transportada por aeronaves. As aeronaves são um produto que pode ser modificado de forma fácil e rápida para satisfazer as necessidades do mercado, como por exemplo durante a pandemia muitas companhias transformaram aeronaves de passageiros em aeronaves de carga e assim fazer fase à procura.

Neste sentido, foi relevante fazer uma análise de dados secundários sobre esta indústria e as emissões geradas pela mesma, por forma a se poder responder às questões de partida, percebendo o que esta Indústria está a fazer e pretende fazer para reduzir ou eventualmente anular a sua pegada ecológica, bem como o que é possível para se proceder à diminuição da mesma através de eventuais alterações em procedimentos atuais, como rotas aéreas e altitudes a que as mesmas são feitas.

1.3. Contextualização

Neste trabalho pretende-se demonstrar que a questão ambiental não é apenas um conceito, mas sim uma realidade bem presente no nosso dia a dia. Por vezes não se tem a noção de como as nossas ações, decisões e escolhas influenciam o ambiente, pois a nossa constante vontade de adquirir o último grito da tecnologia, quer seja pela aquisição do último modelo de telemóvel, de eletrodoméstico, de carro, influencia muito a poluição que geramos, uma vez que ainda não há maneira de reciclar todo o tipo de material que estes equipamentos possuem. Muitas vezes descarta-se apenas porque se quer estar na “moda”, embora o que se tem ainda funcione perfeitamente bem.

Dever-se-ia de ter mais consciência e perceber as consequências provenientes das nossas ações e ponderar se é mesmo necessário proceder aquela mudança ou se a mesma poderá ser feita mais tarde e aí ser efetuada mesmo por que tem que ser.

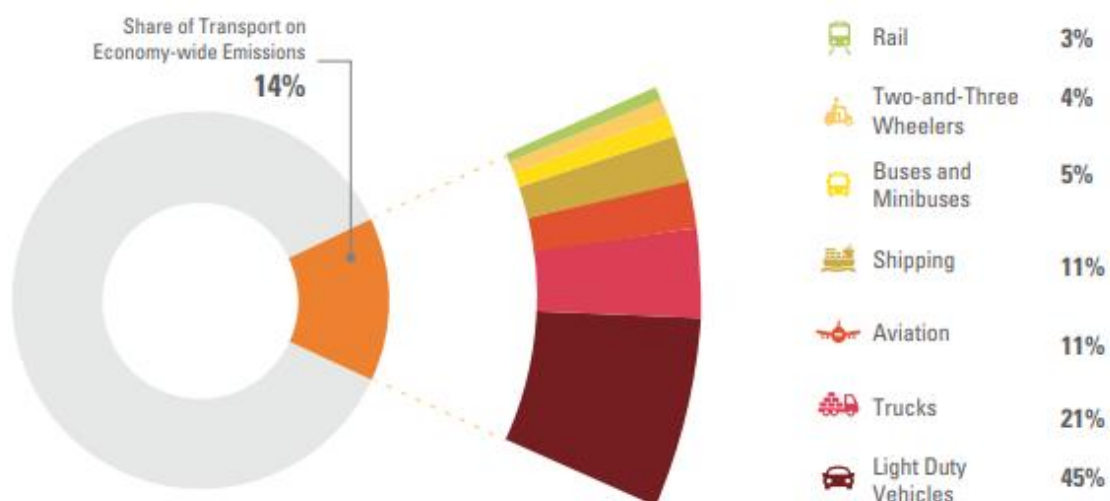
É de notar que a tecnologia é um elo comum entre todos os acessórios acima mencionados e os meios de transporte que utilizamos diariamente para nos deslocarmos ou para transportarmos bens essenciais, quer seja o transporte terrestre, marítimo e aéreo.

A maioria destes meios de transporte utilizam essencialmente combustíveis de origem fóssil para lhes fornecer a energia necessária para se deslocarem, contudo de há uns bons anos a esta parte que se tem verificado imensos avanços na tecnologia que permitiu à indústria automóvel criar os motores híbridos e elétricos, e que tem sido bem aceites na sociedade, contudo ainda não é o suficiente, é preciso fazer mais e para isso a ICAO durante a sua 41ª Assembleia decidiu integrar o *Long Term Global Aspirational Goal* (LTAG) com o intuito de tornar a aviação neutra em emissões de carbono até 2050, de acordo com a notícia lançada no site da ICAO no passado dia 07 de outubro de 2022.

Claro que isto é um projeto muito ambicioso, contudo apenas será possível se todos os intervenientes se comprometerem com este programa.

De acordo com a 24ª Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas ocorrida em 2018, transporte aéreo representava 11% das emissões geradas a nível Mundial, conforme demonstrado na figura 1.

Figura 1: Transporte no mundo, emissões por modo



Fonte: Review of Transport and Climate Change Global Status Report (2018).
Transport and Climate Change Global Status Report 2018

Conforme previsto pela IATA este meio de transporte irá continuar a crescer tanto em número de aeronaves em operação, bem como em número de passageiros, devido ao mesmo proporcionar um meio de transporte seguro e mais rápido que os demais tanto de passageiros como de mercadoria, a previsão é que esta percentagem também aumente

Para que seja mais perceptível, fez-se um breve enquadramento do que é a Indústria Aeronáutica, o impacto ambiental proveniente da mesma, o que a Indústria que rege este sector se tem vindo e o que se encontra a fazer para diminuir a pegada ecológica dela resultante, bem como o que pretende fazer no futuro.

Bem como é explicado o que é e como começou a organização ICAO e o seu objetivo nesta indústria.

Durante as pesquisas e o estudo efetuado foi possível determinar alguns dos desafios que a mesma encontrará pelo caminho que se encontra a percorrer, por forma a atingir os objetivos que se pretendem alcançar.

2. Revisão da Literatura

Sendo a revisão da literatura uma análise qualitativa da literatura relevante para o objeto de estudo, pretende-se mostrar alguns estudos efetuados sobre a Indústria Aeronáutica e o seu impacto ambiental, sendo que o foco será no que a mesma está a fazer para colmatar o mesmo.

Assim sendo e para conseguir atingir o objetivo proposto pela ICAO, a Indústria e o setor terá de efetuar diversas mudanças e adaptar-se rapidamente às mudanças impostas pela sociedade, sendo que um melhor desempenho a nível ambiental e a nível social pode originar benefícios tangíveis, nomeadamente redução de custos, a gestão de riscos, e benefícios intangíveis, como o aumento de qualidade, reputação e o aumento da competitividade (Lozano, 2015).

O potencial de as empresas contribuírem positivamente para a sociedade e para o ambiente, para além de maximizarem os lucros, tornou-se um foco partilhado tanto para os académicos como para os praticantes (Hahn, Figge, Aragón-Correa & Sharma, 2017).

Pelo que a questão ambiental se tornou num tema muito discutido esta Indústria como todas as outras, o seu objetivo é continuar a prosperar, criar valor e crescer, percebeu que também tinha de direcionar o seu foco para a questão ambiental.

2.1. Indústria Aeronáutica em Geral

A indústria aeronáutica é o sector onde estão inseridas empresas governamentais e privadas, cujas atividades são pesquisa, desenvolvimento, investigação, fabricação, prestação de serviços e comercialização de aeronaves e seus componentes, como motores, asas, fuselagem, rodas, trens de aterragem e ainda helicópteros e foguetões (Lucinda, 2012).

Para a OCDE o sector aeronáutico é um sector de valor acrescentado que utiliza tecnologia de nível elevado e que potencia cada vez mais o surgimento de novas tecnologias, tornando-se deste modo, uma indústria vital para a sociedade e para a economia (Caetano, 2012).

A mesma serve diversas necessidades, como indicado em Flightpath 2050 (Comissão Europeia, 2011):

- Confere uma mobilidade sustentável e segura de pessoas e mercadorias;
- Gera riqueza e crescimento económico;
- Participando no equilíbrio do comércio e potenciando a competitividade europeia;
- Gerando postos de trabalho altamente qualificados;
- Intensifica o investimento sustentável em I&D.

Para melhor se compreender esta indústria e as suas particularidades, é importante ter em consideração que a mesma é uma indústria com um nível tecnológico muito elevado, para tal são necessários significativos projetos de I&D para impulsionar o desenvolvimento tecnológico necessário (Comissão Europeia, 2011).

Para que tudo isto seja possível e viável as empresas colaboram entre si e recorrem a parcerias com universidades da área da tecnologia em projetos de I&D, diminuindo deste modo, o risco de possíveis erros (ICAO, 2017).

A complexidade deste sector faz com que o mesmo tenha impacto a nível mundial, pois a aeronave e todos os seus componentes não são fabricados no mesmo sítio. A Airbus, a Boeing, a Honeywell, a Lockheed, e outros recorrem a empresas que fabricam componentes tanto nos Estados Unidos, na Europa e no resto do Mundo, pois torna a aeronave mais barata, bem como reduz o prazo de fabricação da mesma (Sêrro, 2016, Barbosa, 2007).

Todos os anos são construídos milhares de aeronaves, desde as de menor dimensão até às de maior dimensão, pois há aeronaves para os mais variados fins, tais como, (IATA, 2018):

- Agricultura;
- Combate a incêndios;
- Formação;
- Transporte de passageiros;
- Transporte de mercadorias;
- Civis;
- Militares;

Todos os meios de transporte são fatores que contribuem significativamente para a poluição ambiental, gerando as alterações climáticas a que temos assistido durante o passar dos anos, logo as aeronaves e o sector aeronáutico não seria diferente e a poluição resultante da utilização das mesmas é muito vasta, uma vez que são geradoras de poluição sonora, emissões de CO₂ e de NO_x, que é óxido de azoto ou de nitrogénio resultante do processo de combustão e tem um efeito nocivo na qualidade do ar ao nível do solo (IATA, 2018).

Com o crescimento das economias e das populações, prevê-se que até 2050 o transporte aéreo duplique, comparando ao ano de 2015 (Lelieveld, et al., 2015, Vieira et al., 2018), existindo avanços tecnológicos na descarbonização deste sector o mesmo seria compensado pelo crescimento da procura.

Atualmente este sector representa 25% das emissões de CO₂ e 3,8% das emissões na União Europeia, se o crescimento previsto acontecer, estas emissões vão triplicar até 2050 de acordo com o relatório do Parlamento Europeu (A9-01455/2022). Para tentar evitar que isto não aconteça a UE comprometeu-se com o objetivo da neutralidade climática até 2050, que por sua vez foram bem recebidos pelo sector, pelo que o mesmo ao longo dos anos tem vindo a sofrer inúmeras alterações e tem desenvolvido muitos projetos de I&D para fabricar aeronaves mais sustentáveis e menos poluentes (Rodrigues, 2023), contudo há que salientar que este é um processo moroso e dispendioso, devido a ser regulado por procedimentos de certificações complexas, uma vez que têm de ser efetuados muitos ensaios e testes para garantir a segurança e a viabilidade da sua execução.

Há que salientar de que não foi apenas a UE a preocupar-se com as emissões nocivas ao meio ambiente geradas pelas aeronaves, a mesma foi adotada por todos os fabricantes e empresas que contribuem para a fabricação de componentes de aeronaves pelo Mundo inteiro, (Rodrigues, 2023).

2.2. Indústria Aeronáutica Comercial

A indústria aeronáutica comercial é composta por aeronaves de pequeno, médio e de grande porte (IATA, 2018).

Estas aeronaves podem ser de pequeno, médio e longo curso. A maioria das pessoas tem conhecimento das aeronaves de grande porte que fazem viagens internacionais tanto de passageiros como de carga, sendo estas as aeronaves de grande porte (IATA, 2018).

Contudo existe aeronaves de porte inferior que fazem transporte de passageiros de pequeno curso que transportam passageiros e carga, todavia também são utilizados apenas para lazer, outros em acrobacia aérea ainda para instrução e formação de pilotos (IATA, 2017).

Estas aeronaves que a maioria não tem conhecimento da sua existência, também desempenham um papel fundamental na poluição ambiental, pois os mesmos geram emissões para a atmosfera, embora em menores quantidades, contudo os fabricantes destas aeronaves e de todos os subcomponentes, como hélices, motores e outros também estão sensibilizados para a necessidade de proceder à descarbonização deste sector (IATA, 2017).

Estas aeronaves começam a utilizar partes produzidas em fibra de vidro, carbono, bem como fabricadas em impressoras 3D (Rocha, 2020).

Muitos dos fabricantes destas aeronaves, bem como muitos operadores durante o fabrico ou manutenção opta por substituir subcomponentes, como por exemplo as hélices por hélices que potenciam o desempenho da aeronave e reduzem a sua poluição (Rocha, 2020).

Nesta pequena área deste sector existem inúmeros intervenientes, que podem ser os fabricantes, os distribuidores, os investigadores, e os investidores e os demais, que investem em projetos de investigação & desenvolvimento para fazer com que a poluição resultante destas aeronaves seja o menor possível, atualmente todos os fabricantes de hélices encontram-se a produzir hélices em carbono, madeira com fibra de vidro ou de carbono ou até mesmo recorrendo à utilização das duas fibras em simultâneo (ICAO, 2018).

Estas hélices são mais leves que as de alumínio e o formato das pás é mais aerodinâmico, pois o facto de serem feitas em compósito permite que as mesmas sejam moldadas mais facilmente (Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2015).

Recorrendo à utilização deste tipo de hélices, permite que o peso bruto da aeronave diminua e assim seja necessária utilização de menos potência do motor na

descolagem e durante todo o voo, diminuindo assim as emissões geradas pela aeronave (Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2015).

Este tipo de hélices também já se encontra disponível e a ser utilizado em aeronaves militares ou civis, tais como Hercules C-130 e o P3 Orion, nos Estados Unidos por exemplo a Força Aérea e a Marinha já substituíram grande parte das hélices das suas frotas com de pás de alumínio para as hélices com pás de compósito para reduzirem o consumo de combustível e assim reduzirem as emissões geradas pelo mesmo NP2000 propeller system (Collins Aerospace, 2021).

Deste modo, todos os intervenientes e interessados nesta indústria desde o mais pequeno ao maior se encontram empenhados em reduzir a pegada ecológica resultante da utilização de aeronaves (ICAO, 2018).

2.3. Impacto Ambiental

Devido ao rápido crescimento das emissões, este tornou-se um tema preocupante de acordo com vários autores, (Burbidge, 2018; Prussi et al., 2021) que preveem que vá ocorrer mais um crescimento significativo de passageiros transportados. Por sua vez, devido a ainda não serem conhecidos todos os efeitos climáticos resultantes do transporte aéreo, não é possível ainda determinar o risco real resultante do aumento previsto.

De modo, a ser possível identificar todos os efeitos resultantes da constante utilização deste meio de transporte, a União Europeia elaborou uma estratégia que designou de Flightpath 2050, esta estratégia em como objetivo identificar todos os efeitos nocivos para atmosfera resultantes da utilização do transporte aéreo (Comissão Europeia, 2011).

Efetuada uma comparação entre a queima de combustível e a sua respetiva emissão de CO₂ quando a aeronave se encontra elevadas altitudes, com as emissões provenientes da mesma quando se encontra ao nível do solo, o impacto na atmosfera, quase que duplica. Deste modo, para a Indústria é muito difícil atribuir uma valorização exata e correta ao impacto das suas emissões (Moreira et al., 2018).

Embora, seja durante a subida inicial, aproximação e aterragem os momentos em que seja utilizada uma maior potência dos motores é nestas fases que as aeronaves

geram mais emissões de gases, conforme demonstrado na tabela 1, não é nesta fase que as mesmas são mais prejudiciais.

Tabela 1 - Nível de emissões de gases por aeronave em cada fase de voo, com motor CFMI CFM56 5B7/3

Fase Vôo	Potencia	Tempo	Combustível	Emissões Totais (kg)		
				HC	CO	NOx
Decolagem	100 %	42 s	95,92 kg	0,002	0,024	2,069
Subida Inicial	85 %	132 s	247,89 kg	0,005	0,040	4,271
Aprox./Pouso	30 %	240 s	151,68 kg	0,008	0,491	1,342

Fonte: Moreira et al. (2018)

De acordo com Brueckner & Abreu (2017), o impacto na atmosfera da queima de combustível e emissões de CO₂ duplica, em comparação às emissões ocorridas no solo. Logo o efeito da libertação de gases como Óxidos de Enxofre, Óxidos de Azoto e Carbono Negro a elevada altitude tem um efeito mais prejudicial no aquecimento, pelo que deste modo, não é correto avaliar o impacto da aviação nas alterações climáticas, apenas através da análise do nível de emissões de CO₂ (Whitelegg, 2020; Janić, 1999; Banif et al., 2020; ATAG, 2000; Young & Wells, 2011; European Communities, 2002; Litman et al., 1995; Valadas & Leite, 2004; ICAO, 2019; Penner & Intergovernmental Panel On Climate Change, 1999).

No seguimento de diversos estudos (Araújo, 2019; Pereira, 2021; Britzke, 2022) foi possível verificar que durante o processo de queima de combustível são produzidos diversos produtos, e que este processo e os produtos dele resultantes são influenciados pelo motor com o qual a aeronave se encontra equipada. Uma vez que cada motor tem a sua própria taxa de queima de combustível, sendo que a mesma também é influenciada pela altitude a que a aeronave se encontra. Assim sendo, não é correto afirmar que todas as aeronaves produzem as mesmas emissões e de que os produtos resultantes do processo de queima de combustível são os mesmos.

De acordo com uma publicação “Local Air Quality and ICAO Engine Emissions Standards” de 2015, são resultantes do processo de queima de 1 kg de combustível as seguintes emissões:

- 3.160 gramas de CO₂;
- gramas de H₂O;
- 15 gramas de NO_x;
- 1,2 gramas de SO_x;
- Hidrocarbonetos inferiores a 0,01 gramas;
- Partículas inferiores a 0,05 g.

Bem, como as emissões de gases com impacto direto no equilíbrio climático, como:

Efeitos não CO₂ que são:

- O vapor de água;
- A produção de aerossóis;
- A formação de contrails (rastos de condensação);
- A indução de alterações nas nuvens.

De modo, a ser possível efetuar uma medição mais equilibrada do impacto ambiental no aquecimento global, proveniente das emissões do transporte aéreo é necessário recorrer a um método de agregação de dados necessários conhecido como Forçamento Radiativo. Este método enfrenta uma grande dificuldade que é a de atribuição de distintos pesos aos vários impactos ambientais resultantes deste sector, como por exemplo a alteração das nuvens, tanto em formato, como espessura e dimensão resultante da passagem de aeronaves (Stettler, 2023).

Este método estuda principalmente as seguintes emissões CO₂, NO_x, vapor de água, aerossóis, formação de contrails (rastos de condensação) e alterações nas nuvens (Stettler, 2023).

Para este método ser calculado é necessário recorrer-se a um multiplicador cujo nome é conhecido por Radiative Forcing Index (RFI). Este multiplicador é incapaz de distinguir o impacto resultante dos diferentes poluentes em função do tempo de permanência de cada um, mas é o multiplicador que permite de forma mais simplificada a adição das restantes emissões de GEE e os diversos efeitos negativos na atmosfera às emissões de CO₂ (Stettler, 2023).

De acordo com a Agência Europeia do Ambiente os transportes aéreo e marítimo de mercadorias são os que estão constantemente em crescimento e os mais poluentes, sendo que em 2020 as emissões destes sectores diminuíram drasticamente devido à pandemia de COVID-19, onde praticamente todos os sectores pararam quase por completo, contudo desde o levantamento das restrições que as mesmas tem aumentado e as projeções feitas pela Agência Europeia do Ambiente assim o demonstram, prevendo que o transporte aéreo e marítimo sejam os mais poluentes, embora se preveja que o transporte marítimo sofra uma subida ligeira em relação aos valores de 2019, em contrapartida o transporte aéreo prevê-se um aumento substancial e que ultrapassará os valores registados em 2019 (Parlamento Europeu, 2022).

Esta previsão é baseada nos estudos feitos até 2019 e o transporte aéreo é considerado um dos transportes mais seguro, rápido e eficiente é espectável que o mesmo seja cada vez mais utilizado para transporte de passageiros e carga (Parlamento Europeu, 2022).

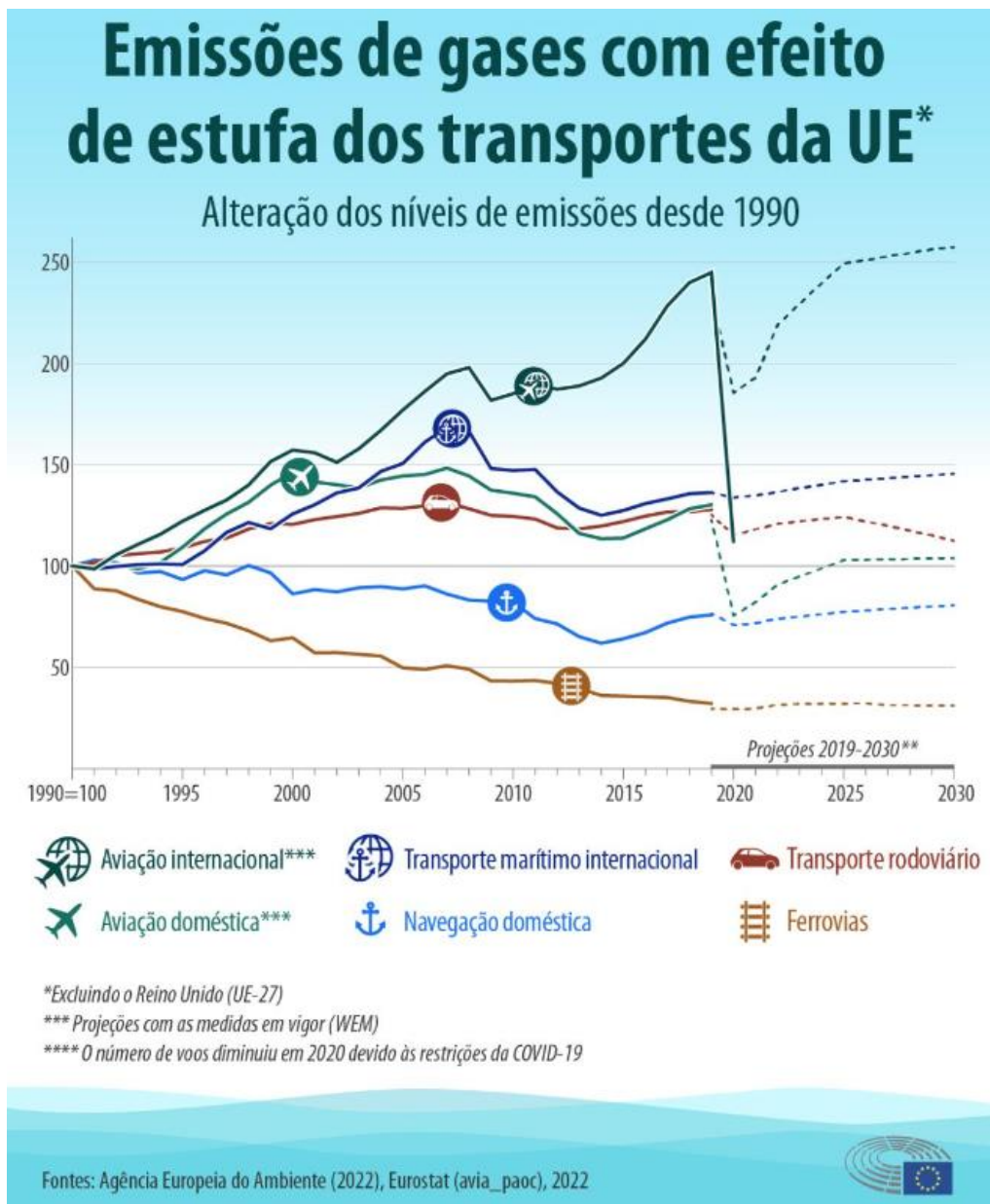
Nas figuras 2 e 3 é apresentada a previsão da Agência Europeia do Ambiente para as emissões de gases de efeito de estufa, onde é possível verificar o quanto é esperado que as mesmas subam nos diversos meios de transporte e em como o transporte aéreo é o que apresenta a maior subida (Agência Europeia do Ambiente, 2022).

Figura 2: Emissões totais de gases com efeito de estufa da Agência Europeia do Ambiente



Fonte: Agência Europeia do Ambiente, (2022)

Figura 3: A evolução das emissões na EU por setor, entre 1990 e 2030 da Agência Europeia do Ambiente



Fonte: Agência Europeia do Ambiente, (2022)

2.4. ICAO (Organização da Aviação Civil Internacional)

A ICAO foi criada em 1947 por 191 países e com sede em Montreal no Canadá, sendo a sua Secretária-Geral Fang Liu de origem Chinesa, tendo como principais objetivos:

- O desenvolvimento dos princípios e técnicas de navegação aérea internacional.
- Da organização e progresso dos transportes aéreos;

Por forma a favorecer a segurança, a eficiência, a economia e o desenvolvimento dos serviços aéreos.

No passado dia 07 de outubro de 2022, durante a 41ª assembleia da ICAO sobre a questão ambiental e emissões de carbono resultantes do sector aeronáutico, onde participaram 2500 delegados de 184 países e 57 organizações que teve uma duração aproximada de 02 semanas (Escola Nacional de Aeronáutica), foi adotada a Meta Aspiracional Global Coletiva, conhecida como LTAG em inglês, de longo prazo, sobre as emissões líquidas zero de carbono até 2050 (ICAO, 2023).

Sendo que a operacionalidade do LTAG irá depender do efeito combinado de inúmeras medidas de redução das emissões de CO₂, como a inclusão da adoção acelerada de tecnologias aeronáuticas novas e inovadoras, operações de voo simplificadas, utilização SAF por todas as companhias aéreas em todos os voos, contudo para que isto seja possível é imprescindível que a sua produção seja aumentada e o mesmo passe a ser produzido em grande escala (ICAO, 2023).

O facto de os Estados terem aderido a este novo objetivo de longo prazo para descarbonizar o transporte aéreo, segue os compromissos dos grupos industriais, tendo assim um papel importante na inovação verde e potencializando os estudos para tornar os voos com emissões de CO₂ a zero (ICAO, 2023).

Durante esta assembleia ficou bem perceptível que é de extrema importância o financiamento e os apoios ao investimento seja viável, bem como todos os Estados representados na mesma apoiaram o programa da ICAO para Assistências, Capacitação e Formação de Combustíveis de Aviação Sustentáveis (ACT-SAF), por forma a acelerar a fabricação do mesmo em grande escala para que as companhias possam proceder à utilização do mesmo nos voos. Para ser verificada que estas medidas estão a ser implementadas, bem como os seus impactos, ficou estabelecido durante a assembleia que em 2023 (ICAO, 2023) iria ser levado a cabo a terceira

conferência da ICAO sobre Aviação e Combustíveis Alternativos seja convocada em 2023 e assim poder ser verificado quais os ajustes a serem feitos ao programa e se será necessário criar novas ferramentas (ICAO, 2023).

Outros desenvolvimentos ambientais notáveis na 41ª Assembleia da ICAO incluíram a conclusão da primeira revisão periódica do Esquema de Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional (CORSIA). Os países chegaram a acordo sobre uma nova base de referência do CORSIA a partir de 2024, definida como 85% das emissões de CO₂ em 2019, e sobre percentagens revistas para os fatores de crescimento sectoriais e individuais a serem utilizados para o cálculo dos requisitos de compensação a partir de 2030 (ICAO, 2023).

Demonstrando assim que o sector aeronáutico se encontra preocupado e envolvido na questão ambiental que a cada dia que se passa, verifica-se que se encontra a deteriorar-se devido à poluição incessante que fazemos no nosso dia a dia e necessidade de adquirir cada vez mais tecnologia nova e recente, sem termos pensado em como reciclar a antiga que ainda funciona (ICAO, 2023).

Na tabela 2, consta a proposta retirada do documento (Waypoint 2050, ATAG, 2021), onde se pode verificar todas as opções energéticas que poderão contribuir para a redução das emissões de CO₂, provenientes do transporte aéreo até 2050, bem como em que período deverá ocorrer.

Tabela 2: Alternativas zero carbono nas diversas frotas e períodos (Air Transport Action Group, 2021)

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Commuter » 9-19 seats » < 60 minute flights » <1% of industry CO ₂	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Regional » 50-100 seats » 30-90 minute flights » ~3% of industry CO ₂	SAF	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Short haul » 100-150 seats » 45-120 minute flights » ~24% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF
Medium haul » 100-250 seats » 60-150 minute flights » ~43% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen
Long haul » 250+ seats » 150 minute + flights » ~30% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF

Fonte: Waypoint 2050, ATAG, (2021)

Se há algo em que aviação ao longo dos anos nos tem mostrada é que a mesma é forte em resolver todos os desafios que lhe aparecem através de inovação tecnológica, pelo que o desafio imposto pela ICAO ao adotar o LTAG não será de todo diferente e a aviação vai responder da mesma forma, implementando tecnologia inovadora na próxima geração de aeronaves. Mais um exemplo é a aeronave Airbus A320neo (Airbus, 2023).

3. Método

Dooley (1995) considerou que a investigação nas Ciências Sociais procura explicar acontecimentos sociais através da tentativa de explicação e observação.

Segundo Blalock e Blalock (1982) a definição da metodologia do estudo que inclui o desenho da investigação e a escolha dos métodos nela utilizados são fundamentais em qualquer estudo científico.

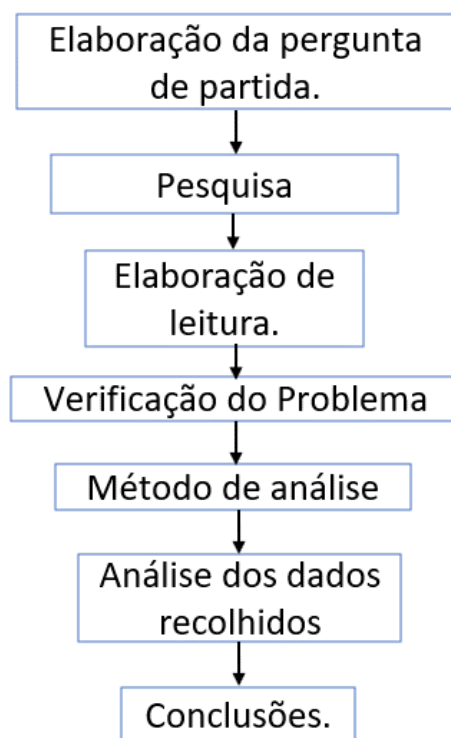
No entender de Bravo (1975) a investigação científica, ainda que não exclua a intuição, necessita uma planificação cuidada e da determinação dos métodos e técnicas mais adequadas para obter a informação que se necessita recolher.

Quivy e Campenhoudt (1992) sublinham que, fundamentalmente, o problema do conhecimento põe-se da mesma maneira para os fenómenos sociais e para os fenómenos naturais: em ambos os casos há hipóteses teóricas que devem ser confrontadas com dados de observação ou de experimentação. Toda a investigação deve, portanto, responder a alguns princípios estáveis e idênticos, ainda que vários percursos diferentes conduzam ao conhecimento científico. Os mesmos autores referem ainda que “um procedimento é uma forma de progredir em direção a um objetivo. Expor o procedimento científico consiste, portanto, em descrever os princípios fundamentais a pôr em prática em qualquer trabalho de investigação. Os métodos não são mais do que formalizações particulares do procedimento, percursos diferentes concebidos para estarem mais adaptados aos fenómenos ou domínios estudados” (p.23).

Após a definição do tema objeto da investigação, procurámos efetuar um levantamento cuidado e exaustivo de um conjunto de referências teóricas, que permitissem uma orientação e apoio para a elaboração do modelo de investigação.

Após a revisão da bibliografia selecionada efetuámos o enquadramento do problema e desenhámos o modelo de investigação, conforme figura 4 abaixo.

Figura 4: Desenho da Investigação



Fonte: Elaboração própria

Após análise do estado de arte de todos os dados secundários provenientes das pesquisas efetuadas, este projeto encontra-se estruturado em seis partes:

Na primeira parte foi explanado o objeto de estudo, a motivação que deu origem ao mesmo e é feita uma breve contextualização do tema a estudo.

Sendo que na segunda parte é efetuada a revisão da literatura através da descrição da indústria aeronáutica, onde a mesmo se encontra inserida, tanto a nível geral como a nível comercial, o seu impacto no Ambiente que é uma questão atual e que tem gerado muitas preocupações, no que diz respeito a como será a qualidade do ambiente e planeta que iremos deixar para as gerações futuras, uma vez que a Camada de Ozono se tem vindo a deteriorar a um nível alarmante, a apresentação da Organização que rege o setor aeronáutico a nível Mundial.

Assim sendo, propomos uma análise exploratória ao sector da Aviação, através da leitura da evolução da indústria aeronáutica. Com uma base qualitativa almejamos responder às seguintes questões de investigação:

Q1) Qual a evolução ecológica da indústria aeronáutica?

Q2) Quais os desafios que a indústria enfrenta para se tornar mais ecológica?

Estas questões são fundamentadas na premissa que as mudanças de Mercado e de Tecnologia podem permitir alcançar o objetivo da indústria em se tornar mais ecológica. Com base no estudo exploratório da relação entre aviação, tecnologia e descarbonização, espera-se oferecer pistas para o aumento da competitividade da Indústria.

Abaixo desenvolvemos e colocamos pistas para a parte dos resultados, obtidos durante a investigação.

- **Q1: Qual a evolução ecológica da indústria aeronáutica?**

Na quarta parte é descrito as modificações que têm vindo a ser projetadas ao longo dos anos, os desenvolvimentos provenientes destes estudos, bem como a ambição que o setor pretende alcançar até 2050, que consiste em se tornar livre de emissões de gases nocivos ao meio ambiente. Os projetos de I&D que tem vindo e que prevê desenvolver no futuro, o que já se encontra implementado e se encontram em desenvolvimento e implementação. As tecnologias que estão a ser implementadas atualmente, bem como as que foram assinaladas como necessárias para atingir as Zero emissões nesta Indústria. O que nos leva até ao ponto em que nos apercebemos que para a Indústria atingir o seu objetivo irá enfrentar muitos desafios, sendo importante perceber quais são os possíveis desafios em questão, nos levando assim a uma segunda questão de investigação:

- **Q2: Quais os desafios que a indústria enfrenta para se tornar mais ecológica?**

Numa quarta parte é detalhado os desafios que o setor tem enfrentado e irá continuar a enfrentar no percurso a que se propôs a percorrer para atingir o seu objetivo, como os impactos positivos que os combustíveis sustentáveis de aviação terão no ambiente, bem como as oportunidades que ainda se encontram por satisfazer nesta indústria, tornando-se em oportunidades de negócio.

Numa quinta parte é mencionada a discussão referente às revelações das pesquisas efetuadas e contribuições para teorias existentes.

Numa última e sexta parte são mencionadas as conclusões retiradas do estudo efetuado, deixando em aberto uma possibilidade de projeto de estudo no futuro.

4. Resultados

4.1. Evolução ecológica da Indústria aeronáutica

Foram realizadas várias modificações às aeronaves, para ser possível torna-las mais ecológicas, sendo as mesmas descritas abaixo, tais como a utilização de compósitos, combustível de aviação sustentável, alternativas ao SAF e ao combustível tradicional, motores híbridos na aviação, aviação híbrida e utilização de hidrogénio como combustível.

Utilização de compósito na estrutura da aeronave

Na realidade desde a Segunda Guerra Mundial que se recorre à utilização de compósitos na construção de aeronaves, tornando-os assim mais leves e económicos.

Sendo que em 1950 a fibra de vidro era utilizada nas estruturas primárias dos planadores de alto desempenho, e em 1965 a FAA, certificou o a primeira aeronave

fabricada com fibra de vidro para a categoria normal, que foi o planador suíço HBV Diamant e quatro anos mais tarde certificou um monomotor de 4 lugares também construído recorrendo a este método para a categoria normal (Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2015).

Ao longo dos anos os fabricantes de aeronaves de grande porte tanto de passageiros como de mercadorias, foram fazendo estudos e projetos para introduzirem este método na construção das suas aeronaves e em 2005 mais de 35% das novas aeronaves fabricados nos estados Unidos utilizavam este método (Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2015).

Este método consiste na utilização de fibra de vidro, fibra de carbono, tecido de kevlar e mistura de todas as opções anteriores, sendo as suas vantagens a facilidade em manuseamento, pois permite criar estruturas mais suaves e aerodinâmicas que o metal, o alumínio e a madeira. Estes componentes são reforçados com fibra pelo sistema de matriz, sendo que a matriz é a cola, ou seja, a resina epóxi que permite manter as fibras unidas e após a cura dá a forma que queremos a fibra. Esta resina é muito forte e é resistente a altas temperaturas (Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2015).

A utilização deste método permite aos fabricantes construir aeronaves mais aerodinâmicas e suaves o que origina um decréscimo significativo no arrasto, logo a aeronave consome menos, gera menos poluição e tem uma performance mais elevada (Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2015).

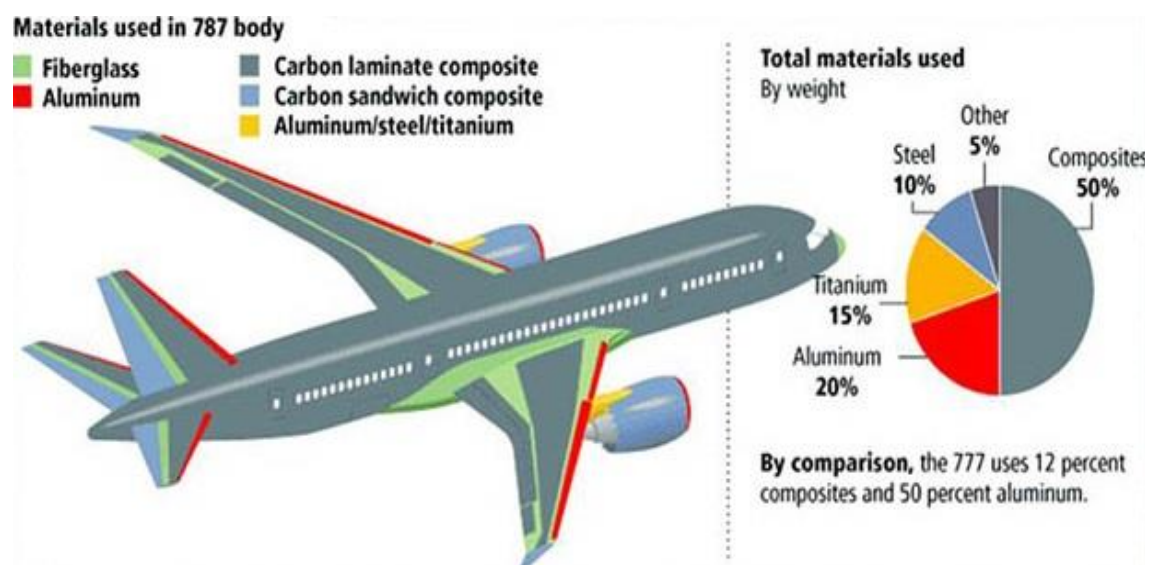
Também permite que sejam mais leves, contudo há que salientar que a questão do peso da aeronave depende muito de duas variantes, tais como, a estrutura que foi projetada e o tipo de fibra utilizada, uma vez que nem sempre a fibra é sinónimo de menos peso, por exemplo a fibra de vidro é mais pesada que a de carbono, o que levou os fabricantes a optarem por utilizarem mais a fibra de carbono nas estruturas das aeronaves (Santos, 2017).

Para além da diminuição do arrasto e do peso, existe uma outra vantagem que é o facto de o compósito não estar sujeito à fadiga da mesma forma que o metal, (Santos, 2017), devido ao seu bom desempenho em ambientes de flexão, logo todos os componentes fabricados de compósito têm uma maior durabilidade que o alumínio, deste modo, também há que notar que este material não está sujeito à corrosão

provocada pela condensação da humidade como alumínio, o que vai originar uma redução substancial nos custos de manutenção a longo prazo , (Santos, 2017).

Com a utilização recorrente deste método, o processo foi sendo aprimorado e com todos os estudos feitos ao longo dos anos a Boeing construiu o Boeing 787, sendo que 50% da aeronave é compósito, conforme evidenciado na figura 5 (Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2015).

Figura 5: Materiais utilizados na construção do Boeing 787



Fonte: (A era dos Compósitos na fabricação de aeronaves, Hangar 33, Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge).

Devemos salvaguardar que como em tudo este método também tem as suas desvantagens que consistem na dificuldade de se verificar os danos originados por impactos de baixo impacto e energia, pois este material não fica amolgado nem riscado com a mesma facilidade que o alumínio, sendo para isso necessário recorrer a inspeções não destrutivas efetuadas por técnicos certificados para o efeito e especializados em compósitos, a potenciais danos originados por calor na resina, pois os mesmos começam a enfraquecer acima dos 66 °C e para evitar estas situações recorre-se à utilização de tintas para epóxi branca ou preto, sendo que o branco raramente excede os 60 °C e o preto pode atingir até 100 °C, contudo a fibra de vidro é um isolante elétrico e a de carbono é um bom condutor mas não é tão eficaz, pelo

que para as descargas elétricas poderem ser feitas com brevidade é necessário adicionar uma condutividade elétrica à camada externa do revestimento, através da colocação de malha fina de alumínio e de cobre, sendo a de alumínio utilizada na fibra de vidro e o cobre na fibra de carbono (Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2015).

Para além deste método a Airbus está a efetuar diversos estudos e projetos de I&D para utilizar materiais mais resistentes e leves que as fibras e vidro e carbono, tais como Plástico Reforçado com Fibra de Carbono (CFRP), materiais de origem biológica, como a seda de aranha que tem propriedades mais fortes que o aço e mais resistência que o Kevlar, como podem ser facilmente moldáveis, vão impulsionar o design aerospacial e tornar as aeronaves mais aerodinâmicas (Airbus).

Por forma a poder reduzir e até mesmo anular a utilização de materiais que são prejudiciais ao meio ambiente estão a recorrer à utilização de superfícies e revestimentos avançados, como revestimento de carboneto de tungsténio e novas ligas metálicas em almofadas de aba de compressão e lâminas de turbina, possibilitando maior eficiência pois os mesmos contêm cerâmicas de temperatura elevada (Airbus, 2023).

Sendo que estes novos revestimentos têm as mesmas vantagens que as fibras, uma vez que são mais resistentes tanto em relação à corrosão, fadiga e microfissuras que o alumínio e as fibras já utilizadas, o que lhes concede um tempo de vida útil mais elevado, diminuindo os custos de manutenção, bem como diminuindo a pegada ecológica das aeronaves e dos seus resíduos, uma vez que uma maior parte destes componentes pode ser reciclado e usado na fabricação de outros componentes (Airbus, 2023).

Utilização de Impressora 3D na Indústria Aeronáutica

Com a constante pressão de diminuir o impacto ambiental gerado pelas aeronaves e como parquear as mesmas e reduzir o transporte aéreo não é algo que possa ser tido em consideração os fabricantes, decidiram fazer estudos para perceber o que poderiam fazer para reduzir as emissões de CO₂, NO_x e outras, resultantes de cada viagem que a aeronave faz (Airbus).

Vários estudos (Atzeni et al. 2010, 2014), chegaram à conclusão de que é viável a utilização da Impressora 3D para fabricação de peças a serem utilizadas na estrutura da aeronave, pois assim permite-lhes reduzirem o peso da peça, uma vez que a impressão 3D consiste na fabricação aditiva.

Esta fabricação é designada por fabricação aditiva ou fabricação rápida, pois a mesma permite fabricar um maior número de peças em menor tempo, de que do modo tradicional, reduz o desperdício de matéria-prima durante o processo de fabrico, bem como elimina o aparecimento de problemas físicos, pois trata-se de uma máquina que fabrica as peças em vez de ser uma pessoa como no modo tradicional (Mami et al., 2017).

Com este modo de fabricação é mais fácil fazer peças com design mais aerodinâmico, uma vez que a mesma consegue fazer todos os formatos com mais precisão e necessitando de menos tempo neste processo. A longo prazo o recurso a este modelo de fabrico trará inúmeros benefícios, quer em termos ecológicos como em custos de produção, pois quanto mais fabricantes recorrerem a este modelo, mais barato se tornará as matérias-primas, tais como pó de titânio, nylon e alumínio (Mami et al., 2017).

Na realidade desde 2014 que são utilizadas peças fabricadas por impressoras 3D nas aeronaves, por exemplo a Airbus em 2014 lançou uma aeronave com a cabine em titânio, (Almeida, 2017, p. 32), desde então que cada vez são construídas mais peças através deste processo e a serem incorporadas durante a fabricação e manutenção das aeronaves (Airbus, 2018).

Há que salientar que o ciclo de vida das peças produzidas pelo método de fabricação aditiva é considerado longo, pois as mesmas não contraem corrosão nem fadiga com tanta facilidade que as fabricadas pelo método tradicional (Mami et al., 2017).

Em 2016 a Airbus apresentou uma aeronave toda fabricada através do processo de fabricação aditiva com 4 metros de comprimento e demonstrou durante a feira internacional de Berlim que é possível e de que o futuro da indústria aeronáutica irá ser utilização de peças e construção de aeronaves através do recurso de impressoras 3D (Airbus Apresenta Primeira Aeronave Feita Por Impressão 3D, n.d.).

As vantagens deste processo são nomeadamente a redução do peso da aeronave, uma vez que as peças construídas pelo método de fabricação aditiva que consiste na

usinagem e fundição sob pressão, torna-as mais resistentes, mas mais leves, logo a aeronave irá consumir menos combustível e por sua vez gerar menos poluição (Mami et al., 2017). Também irá permitir que o tempo de fabricação de uma aeronave nova diminua substancialmente.

Combustível de Aviação Sustentável

O combustível mais utilizado na aviação é do tipo de combustível fóssil que tem mais aditivos que o usado nos automóveis para reduzir o risco de congelamento ou de explosão devido a temperaturas extremas e para ter mais potencia, este combustível é conhecido como Jet Fuel, logo é mais poluente e prejudicial à camada de ozono (Blog Raizen, 2023 e epbr, 2023).

A preocupação como o meio ambiente tem sido algo que tem ganho cada vez mais relevância no dia a dia das indústrias, e entre as quais a indústria aeronáutica, já há muito tem vindo a fazer estudos e a criar soluções para diminuïrem o seu contributo para o aumento do buraco na camada de Ozono, pelo que em parceria com diversas indústrias e cientistas tem tentado encontrar uma alternativa sustentável ao combustível fóssil e de acordo com a Shell o *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) foi utilizado pela primeira vez em 2008 (Ferreira, 2023).

O SAF baseia-se em fontes renováveis de hidrocarbonetos que não tem por base combustíveis fósseis, tais como óleo de cozinha usado, resíduos urbanos e biomassa florestal, permitindo assim fazer a reciclagem dos resíduos provenientes do dia a dia e deste modo, ajuda o planeta a ser mais sustentável (Combustível de Aviação Sustentável, n.d.).

A Neste que é um fabricante de SAF fez um contrato com a McDonald's para utilizar o óleo de cozinha dos seus restaurantes na Holanda, tornando assim a fabricação um projeto comum e sustentável (biofuels international, 2020).

Este combustível possui um enorme potencial pois, permite diminuir as emissões globais de gases com efeito de estufa entre 70% a 90% em comparação com o combustível proveniente de combustíveis fósseis, contudo o mesmo tem menor densidade de energia, pelo que é necessário um maior volume de matéria-prima (Transição Energética e Investimentos e Comunicação Corporativa da Raizen, 2023)

A produção deste combustível ainda é limitada, embora esteja a ser feitos vários esforços a nível mundial para aumentar significativamente a produção do mesmo. Em 2023 inaugurou-se a primeira fábrica de SAF no Brasil. Ao ser um recurso escasso significa que o mesmo é caro, contudo e devido à pressão exercida sobre as companhias aéreas, já há muitas a utilizarem-no nas suas aeronaves, como por exemplo a QANTAS Group, KLM, Air France, entre outras, mas não a 100%, devido ao seu preço elevado e pouca oferta, é necessário misturá-lo com o combustível tradicional em porções iguais ou uma porção inferior de SAF (Sousa, 2023).

A ICAO (2019) previu que a partir de 2019 a utilização de SAF iria aumentar de 6,45 milhões de litros para 8 mil milhões de litros até 2032, pelo que todos os intervenientes neste processo se encontram comprometidos e empenhados em atingir e superar estes valores.

Sublinhe-se que em 21 de Junho de 2022 o fabricante ATR, a companhia aérea sueca Braathens Regional Airlines e a Neste (fabricante de combustível sustentável para aviação na Europa) levaram a cabo o primeiro voo de teste com o ATR 72-600 protótipo abastecido apenas com SAF nos dois motores, o voo teve uma duração de 1 hora e 20 minutos (Gianotto, 2022), provando que é possível as aeronaves comerciais voarem apenas com SAF e tornando assim a aviação um meio de transporte mais ecológico, este voo de teste provou que se todos os intervenientes na aviação colaborarem juntos é possível tornar o SAF o combustível do futuro e aumentar a sua produção. De acordo com o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia até 2050 os voos devem ser feitos com recurso a 70% de SAF e 30% de combustível tradicional, ou seja, de origem fóssil, sendo que a partir de 2025 já todos os voos vão ter de conter na composição do combustível 2% de SAF (Parlamento Europeu, 2023).

Figura 6: Foto ATR.



Fonte: Gianotto, 2022

Alternativas ao SAF e ao combustível tradicional

Em alternativa ao combustível tradicional e ao SAF, a LanzaTech em parceria com o PNNL (Pacific Northwest National Laboratory), Virgin Atlantic e outros parceiros industriais e governamentais criaram o combustível de aviação sustentável inovador que é feito através de carbono, para isso foram efetuados estudos e projetos para procederem à conversão de gases residuais de carbono em etanol e posteriormente o etanol em combustível de aviação (Lanzajet News & Insights, 2018).

Permitindo a que no passado dia 02 de outubro de 2018 se registasse um novo marco, na história da aviação, com o voo comercial do Boeing 747 de Orlando, Florida até Londres operado pela Virgin Atlantic a utilizar combustível sustentável inovador (Lanzajet News & Insights, 2018).

Desde então que os EUA apoiam cada vez mais a pesquisa e desenvolvimento de combustíveis, produtos e produtos químicos tendo base biológica maximizando o uso

dos recursos abundantes de biomassa existentes no país. Estes recursos incluem biomassa celulósica e algas (Silva, 2023).

No entanto, desde 2014 que se começou a falar que no futuro não seriam apenas os carros elétricos e que este conceito poderia ser adaptado à aviação comercial, começando deste modo, diversas empresas, investigadores a fazerem estudos, desenhos e protótipos para tornarem esta ideia em realidade (Isikveren et al., 2015).

Esta ideia constitui uma opção com potencial pois equipando as aeronaves com motores elétricos, seria possível reduzir as emissões de CO₂, bem como diminuir a poluição sonora e tornaria todas as áreas urbanas que se encontram em redor dos aeroportos mais ecológicas, contudo para já para se poder construir uma aeronave comercial como um Airbus A320 ou A330, ou mesmo um Boeing 747 seria necessário recorrer a baterias com muita capacidade, o que significaria baterias de grande dimensão, o que é incomportável devido ao peso que as mesmas iriam ter e sendo que numa aeronave o que tem mais impacto é o peso, logo ainda não é possível incorporar esta tecnologia nas aeronaves de longo curso e de grande porte (ATAG, 2021).

Já em contrapartida nas aeronaves de pequeno curso e de dimensão mais pequena esta ideia já saiu do papel e é uma realidade hoje em dia, com efeito, no passado dia 27 de setembro de 2022 uma empresa Israelita, cujo nome é Eviation Aircraft, levou a cabo o voo de teste da aeronave Eviation Alice, 100% elétrico (Postagem Aero, 2022).

O mesmo é equipado por dois motores elétricos e dois hélices de cinco pás fabricadas em compósito pela Hartzell Propeller, no seu primeiro voo o mesmo operou durante oito minutos e deslocou-se a uma altitude de 3.500 pés (aproximadamente 1 km). Há que notar que as aeronaves a energia elétrica já são uma realidade e vieram para ficar, pois em outubro de 2022 a aeronave Eviation Alice encontrava-se em fase de certificação pela FAA, na categoria de pequenas aeronaves (Future Flight, 2022). Esta aeronave será comercializada em três versões, como voos regulares regionais com capacidade até 11 passageiros, sendo dois deles tripulantes, comerciais e de carga (Future Flight, 2022).

O mesmo terá uma autonomia de uma a duas horas de voo e um alcance de 250 milhas náuticas, o que será aproximadamente 460 km e contará com uma velocidade máxima de cruzeiro de 287 milhas por hora o que será aproximadamente 462 km/h (Future Flight, 2022).

Este tipo de aeronaves é muito atrativo para companhias de transporte expresso, como DHL, Fedex e UPS, de acordo com o fabricante a DHL já demonstrou o seu interesse em adquirir a aeronave para a sua frota, bem como a companhia aérea CapeAir e a GlobalX (Future Flight, 2022).

Em paralelo a Boeing tem trabalhado em um projeto que pretende lançar entre 2030 a 2050, chamado Sugar Volt, este projeto é uma aeronave comercial de grande porte híbrido, ou seja, tem o motor que é abastecido com combustível convencional e tem o motor elétrico (Boeing, Inovação).

Este modelo de aeronave contempla diversas novas tecnologias, sendo uma delas os motores híbridos, contudo o mesmo é equipado com asas maiores potenciando assim uma maior elevação e menos resistência ao ar o que resultará em descolagens mais curtas, o que reduzirá a poluição sonora nas zonas em torno dos aeroportos (Boeing, Inovação)

As asas ao serem maiores trazem alguns inconvenientes como o estacionamento do mesmo devido espaço disponível nos aeroportos e entrada nos hangares para efetuar manutenção, para colmatar este inconveniente a Boeing está a desenvolver estas asas para serem dobráveis, facilitando assim o estacionamento da aeronave (Boeing, Inovação).

Verificamos que a Airbus, Boeing e até uma empresa Israelita, cujo nome é Eviation Aircraft estão empenhados em tornar a ideia de aeronaves alimentados por motores elétricos se tornar realidade, contudo não são os únicos intervenientes a laborar neste campo, pois a União Europeia também se encontra empenhada nesta área, pelo que a iniciativa conta com uma parceria entre 48 empresas, sendo que entre estas empresas encontram-se três portuguesas, que são o ISQ, INEGI e Almadesign (Indústria Tecnologia Inovação, n.d.).

Esta parceria formou-se para construir uma aeronave híbrida com capacidade para 50 a 100 lugares e para viagens de curto alcance, ou seja, inferiores a 500 kms, esta aeronave apelidado de Hera, contará com várias tecnologias inovadoras que se encontram em desenvolvimento, como distribuição elétrica à escala de alta tensão MW, gestão térmica, um design completamente novo tanto da asa como da fuselagem, propulsão híbrido-elétrica que é suportada por baterias ou células de combustíveis alimentadas por SAF ou combustão de hidrogênio para a fonte térmica e assim atingir até 90% de emissões mais baixas, e num novo armazenamento

relacionado com baixas emissões de gases de efeito de estufa. Preveem que o mesmo possa ser comercializado em 2030 (Indústria Tecnologia Inovação, n.d.).

Motores híbridos na aviação

Os motores híbridos para aeronave são muito semelhantes aos dos automóveis, uma vez que os mesmos são compostos por um motor de combustão tradicional e um motor elétrico, contudo o que não é muito divulgado ou pelo menos do conhecimento geral é que no início dos anos 70 foi desenvolvida a primeira aeronave híbrida (Faster Capital, 2023).

Este projeto foi desenvolvido por Fred Ferguson que na altura era professor de engenharia na universidade de Wisconsin-Madison (Faster Capital, 2023). Já naquela época a questão ambiental era um tema relevante, contudo não para todas as pessoas e nem para todas as indústrias, motivo pelo qual este projeto não se desenvolveu em pleno. Na altura a aeronave desenvolvida era composta por um motor a pistão e um motor elétrico, uma vez que o conceito desta aeronave híbrida é utilizar o motor a combustão ou pistão durante o voo de cruzeiro e o motor elétrico para as decolagens e aterragens, verificou-se que o maior desafio para a aviação híbrida ira ser o desenvolvimento de baterias com potência suficiente e num formato pequeno e com pouco peso que permitisse a descolagem e aterragem da aeronave (Faster Capital, 2023).

Com o avanço continuo da tecnologia na área de baterias desde o início dos anos 70, proporcionou à aviação híbrida uma forte alavanca, pois permitiu o desenvolvimento de aeronaves híbridas com capacidade para efetuarem voos de maior distância, tornando-as muito atrativas para companhias aéreas que fazem voos regionais, como Lisboa-Porto ou voos dentro dos diversos Estados, dos Estados Unidos da América, tanto que a EasyJet e a United Airlines já demonstraram o seu interesse nestas aeronaves (Faster Capital, 2023).

As mesmas permitem diminuir o consumo de combustível e por sua vez as emissões de CO2 geradas pelo consumo, bem como reduzem o ruido produzido pelos motores a combustão e que são nocivos ao ambiente, bem como aos seres vivos (Faster Capital, 2023).

Atualmente já existem diversos estudos, bem como projetos já desenvolvidos e em fase de certificação de aeronaves híbridas, compostas por motores a combustão, mas que utilizam combustível sustentável em vez de o de origem fóssil e motores elétricos. A mesma recorre ao uso de frenagem regenerativa para ser possível recuperar parte da energia gasta durante a aterragem para recarregar as baterias e reduzir o consumo geral de energia, tornando assim mais ecológico (Faster Capital, 2023).

Esta aviação tem inúmeros benefícios ambientais pois reduz a emissão de carbono das aeronaves, reduz o ruído como mencionado anteriormente, pois durante a decolagem e aterragem apenas são utilizados os motores elétricos, requer menos pista para as decolagens e aterragens, o que significa que o consumo de energia também é mais reduzido, bem como os voos serão mais curtos e eficientes, pode operar em grandes altitudes e em condições climáticas extremas. Tudo indica que com esta combinação de tecnologias seja possível fazer voos de maior distância sem recorrer a escalas, tornando-os substancialmente mais curtos para os passageiros e mais ecológicos (Faster Capital, 2023).

Na Europa já existe um fabricante de aeronaves elétricos que se encontra a desenvolver uma aeronave híbrida, apelidada de ES-30. O ES-30 está a ser fabricado pela Heart Aerospace que é uma empresa Sueca e a mesma encontra-se a ser desenvolvida para rotas regionais e com capacidade para 30 passageiros (Heart Aerospace, 2023).

Esta aeronave possui motores elétricos que são alimentados por baterias e tem dois turbogeradores que são alimentados por SAF. Estes dois últimos são utilizados como reserva ou se for necessário permite à aeronave fazer voos mais longos. No modo elétrico o mesmo tem autonomia para 200 kms, contudo pode ir até aos 800 kms com os turbogeradores. É de notar que para fazer os 800 kms a aeronave apenas poderá levar 25 passageiros, em plena capacidade tem autonomia apenas para 400 kms (Heart Aerospace, 2023). A empresa prevê que a mesma fique operacional para voar em 2028. Este projeto é ambicioso e que mais uma vez demonstra todo o empenho que a Indústria Aeronáutica e os seus intervenientes tem vindo a ter para reduzirem e se possível anularem as emissões de carbono provenientes da utilização de aeronaves para movimentação de passageiros e cargas (Heart Aerospace, 2023).

Neste sentido, a Azul, companhia aérea Brasileira anunciou no passado mês de agosto que pretende começar a operar com motores híbridos-elétricos nas suas rotas

regionais e os mesmos serão colocados nos Cessnas Grand Caravan (Cardoso, 2023).

Este motor é um Pratt & Whitney PT6 V12, com 674cv de potência e que chega aos 754cv com a ajuda do propulsor elétrico. Esta modificação consiste em colocação das baterias de íon de lítio na cauda da aeronave, por forma a manter o equilíbrio da mesma, pois o motor encontra-se no nariz da aeronave, estas baterias serão recarregadas durante a aproximação, devido à tecnologia de regeneração de energia adicionada às mesmas (Cardoso, 2023).

A companhia prevê fazer esta modificação em 6 aeronaves e projeta obter um ganho de eficiência operacional em 70% e uma redução de 25% no custo por passageiro dependendo da rota efetuada (Martins, 2023).

Na figura 7 e 8 observa-se a imagem do motor que a empresa permitiu que a Canaltech tirasse durante o anúncio, bem como de um Cessna Grand Caravan, para ser mais perceptível.

Figura 7: Motor híbrido-elétrico operado pela Azul em parceria com a Ampire para colocar nos Cessna Grand Caravan para rotas regionais



Fonte: Felipe Ribeiro, Canaltech, 2023

Figura 8: Cessna Grand Caravan da companhia Azul, foto da Asas Brasil Magazine



Fonte: Larenas, 2021

Aviação híbrida

A aviação híbrida como falado anteriormente consiste na combinação de duas tecnologias, ou seja dois motores, o de combustão tradicional e o elétrico e é uma área muito impressionante, pois ao longo dos anos tem vindo a inovar e a verificar as lacunas existentes na indústria aeronáutica bem como no mercado (Faster Capital, 2023).

Assim sendo os tipos de aeronaves híbridas existentes, são:

- Aeronaves híbridas de asa fixa:

Esta aeronave voa a grandes altitudes e é projetada para voos de longo curso (Faster Capital, 2023).

- Aeronaves híbridas de asa rotativa:

Esta aeronave descola e pousa na vertical e foi projetada para voos de curta distância, sendo que o seu foco são os serviços médicos de emergência e operações de busca e salvamento, uma vez que são mais económicos e ecológicos que os helicópteros (Faster Capital, 2023).

- Aeronaves híbridas de asa misturada:

Esta é um tipo novo de aeronave e comum design exclusivo, pois o corpo e as asas são uma única estrutura, as mesmas são projetadas para voos de pequeno curso (Faster Capital, 2023).

- Aeronave de descolagem e pouso vertical elétrico (EVTOL):

Esta aeronave foi projetada para descolar e aterrar verticalmente e a mesma possui apenas motores elétricos, tornando-a a mais ecológica de todas. Foi idealizada para voos de curta distância, essencialmente para transporte aéreo urbano e táxis aéreos, que é algo que já vimos em filmes, séries e até jogos. Contudo é uma oportunidade de negócio para este mercado (Faster Capital, 2023).

Esta aviação é muito promissora e com bastante interesse para todos intervenientes neste sector, nomeadamente as companhias aéreas, pois estas aeronaves são mais económicas, tanto em nível de consumo de combustível como em manutenção requerida, uma vez que os motores elétricos requerem menos manutenção que os a combustão tradicional, também são menos poluentes o que irá reduzir a pegada ecológica do sector e com isto o custo por passageiro irá também diminuir, logo as companhias iram conseguir reduzir os seus gastos (Openvia, 2023). A mesma é impulsionada pelos constantes avanços nas tecnologias das baterias, permitindo torna-las mais leves e com mais potência, contudo ainda terá muitos desafios que terá de superar, conforme mais à frente se mencionará (Openvia, 2023).

Utilização de hidrogênio como combustível

Atualmente a opção de aeronaves movidos a hidrogênio é mencionada com regularidade, contudo a aviação já recorria à sua utilização no século XX, para proceder ao içamento do Zeppelin, devido a ser mais leve que o ar e gera uma sustentação natural permitindo ao Zeppelin voar, no entanto também possui uma característica que o torna muito perigoso que é a sua propensão a explodir (Avião Movido a Hidrogênio: Voo Sem Venenos, n.d.).

Em 1842 o físico William Robert Grove construiu a primeira célula a combustível de hidrogênio (Viana, 2020).

Estas células são células eletroquímicas nas quais o hidrogênio e o oxigênio são convertidos em energia elétrica que são fundamentais para todos os sistemas de propulsão que tem por base o hidrogênio. Dependem do fornecimento contínuo de hidrogênio e oxigênio que pode ser recuperado do ar, enquanto que o hidrogênio é proveniente do recipiente onde o mesmo é armazenado (Viana, 2020).

Uma das vantagens destas células é que não emitem gases de efeito estufa e os materiais necessários existem em abundância. Tornando esta fonte de energia muito atrativa, contudo a desvantagem que o mesmo apresenta torna-o ainda um projeto extremamente ambicioso, pois o mesmo irá requerer muito investimento em estudos e infraestruturas de armazenamento (Airbus, 2021).

Quando se encontra no seu estado gasoso, é necessário um volume muito grande, bem como tanques enormes para proceder ao seu armazenamento, para o mesmo passar ao estado líquido o mesmo tem de ser arrefecido até -253°C , o que faz com que seja necessário recorrer um grande consumo de energia. A sua extração também requer a utilização de muita energia, tornando para já inviável pois todas as estruturas existentes para extração do mesmo sejam provenientes de fontes resultantes de utilização de carbono (Ferreira, 2022).

No entanto esta ideia não foi colocada completamente de lado, devido à constante evolução tecnológica, tem se verificado ao longo dos anos que os recursos são finitos, os fabricantes de aeronaves e motores de aeronaves como a Rolls-Royce, tem-se vindo a dedicar ao estudo de alimentar os motores com hidrogênio (“Juntamente com nosso compromisso de melhorar continuamente a eficiência das turbinas a gás e

demonstrar compatibilidade com o combustível de aviação sustentável, esse trabalho garante que continuaremos desempenhando um papel de liderança na busca pela aviação Net Zero” nota mencionada pela Rolls-Royce num comunicado) (Ferreira, 2022).

Em 2023 esta ideia já é uma realidade pois atualmente os fabricantes já se encontram a efetuar testes nestes motores, bem como em aeronaves equipados com os mesmos (Sérvio, 2022).

Contudo para tornar este projeto viável ainda é necessário fazer diversas adaptações tanto nas aeronaves, como em todas as infraestruturas adjacentes, como por exemplo, é imprescindível tornar o transporte desta substância mais eficaz na aeronave, bem como no camião abastecedor, pois a mesma é muito pesada e deve ser transportada e armazenada em depósitos cilíndricos, como referido anteriormente, logo transporta-la na aeronave vai fazer com que o peso da aeronave aumente o que vai prejudicar o desempenho da mesma, uma vez que esta variável, é uma das mais importantes neste meio de transporte (Cardoso, 2022).

Uma vez que desta advêm diversas consequências negativas, como, o aumento da distância necessária de descolagem, logo seriam necessárias pistas mais compridas, a diminuição do espaço disponível para transporte de passageiros, suas malas e carga aérea, pois sempre que é efetuado um voo comercial, no mesmo também é transportada carga aérea, desde que haja espaço disponível na aeronave (Cardoso, 2022).

Logo o maior desafio encontrado para a utilização do hidrogênio é determinar a forma mais viável e eficaz para o extrair, transportar e armazenar. Sendo de salientar que se deverá proceder a diversas modificações nas infraestruturas dos aeroportos, por forma a se proceder ao armazenamento de hidrogênio e abastecimento das aeronaves sempre que necessário.

Na Europa já existem países como a França a efetuar estudos e modificações destas infraestruturas para permitir a utilização de hidrogênio nesta indústria (Cardoso, 2022). Na realidade no aeroporto de Toulouse-Blagnac (TLS) em França, já se encontra concluída a estação de hidrogênio no aeroporto e de acordo com a Airbus os sistemas de produção, armazenamento e distribuição estão atualmente em fase de testes finais e a mesma tem capacidade para produzir 400 kg de hidrogênio por dia (Cardoso, 2022).

A utilização desta substância para além de reduzir as emissões de CO₂ também diminui o ruído produzido pelos motores a combustão (Cardoso, 2022).

Apesar de todos os esforços e estudos que a indústria e os fabricantes têm vindo a efetuar ainda não são suficientes para permitir a disponibilização de aeronaves movidas única e exclusivamente a hidrogênio. Sendo que a previsão para disponibilização de aeronaves movidas 100% a hidrogênio para as vertentes de curto e médio curso seja a partir de 2080, (Dray et al., 2022).

Motores elétricos com recurso a hidrogênio verde

A Airbus tem vindo a fazer estudos para adaptar os motores das aeronaves para que utilizem hidrogênio, mais propriamente elétricos com uma fonte de energia que será o hidrogênio verde (“As células a combustível são uma solução potencial para nos ajudar a alcançar nossa ambição de emissões zero e estamos focados em desenvolver e testar essa tecnologia para entender se é possível e viável para a implementação de serviço de uma aeronave de emissão zero em 2035”, disse Llewellyn, (Vinholes, 2022)). O hidrogênio verde é obtido através do processo eletrólise da água que consiste na separação das moléculas de hidrogênio, das de oxigênio recorrendo a uma corrente elétrica, sendo que para este processo serão utilizadas apenas fontes de energia renovável, tais como eólica, hídrica e solar. Este combustível tem uma densidade energética por unidade de massa três vezes superior à do querosene de aviação, do que as baterias de íon-lítio e como dito anteriormente para utilizar este combustível será necessário fazer adaptações às aeronaves para o seu armazenamento. Contudo este projeto enfrenta alguns desafios, tais como as baterias, uma vez que não há forma de as reciclar, pelo que este projeto será considerado apenas a curto e médio prazo pela Airbus. A mesma encontra-se a fazer estudos para encontrar uma alternativa para as baterias, entretanto tem levado a cabo testes ao motor elétrico com células de hidrogênio por forma a verificar a viabilidade de os colocar em funcionamento (Cardoso, 2022).

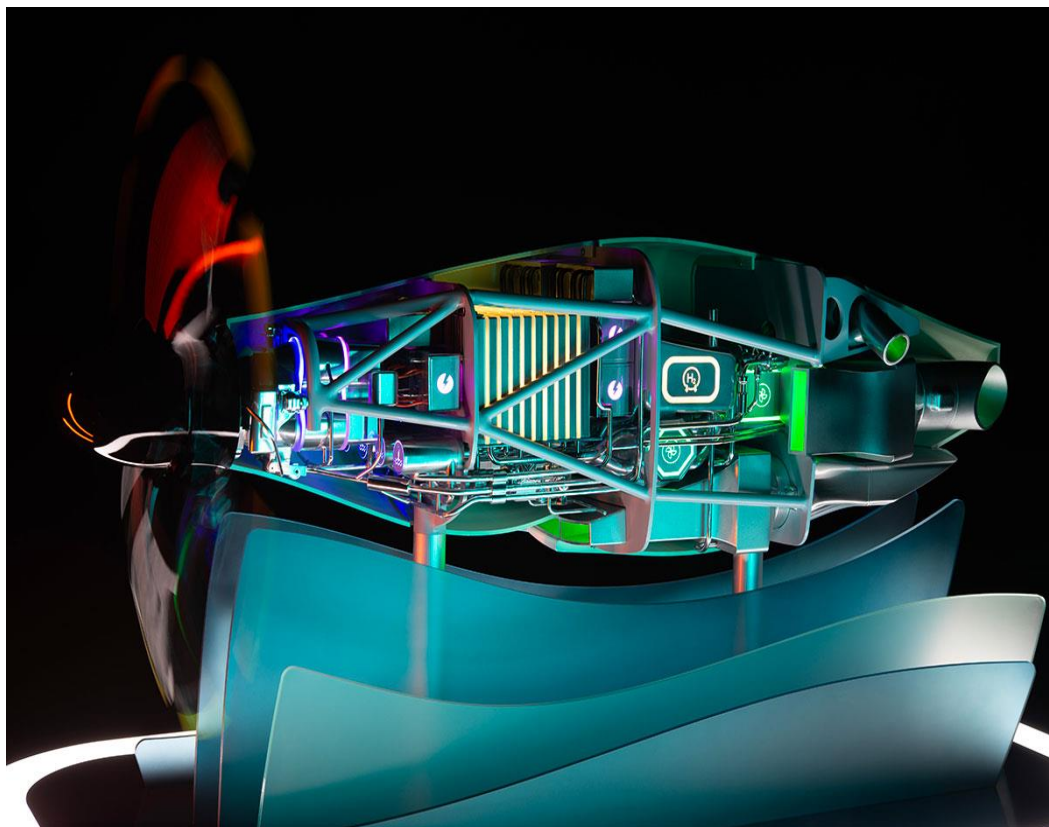
Estes motores irão funcionar da seguinte forma:

A conversão de energia armazenada nos átomos de hidrogênio para energia elétrica será feita através de uma reação eletroquímica que se dá nas células de combustível.

De acordo com a Airbus o hidrogênio deve ser armazenado na aeronave no estado líquido, pois o mesmo fica mais volátil e ocupa menos espaço, pelo que permite uma maior armazenagem que no seu estado gasoso. Assim sendo o processo do seu estado líquido para gasoso é feito aquando o mesmo sai do tanque de combustível e é enviado para as células. Sendo que a empresa pretende incorporar o mesmo na aeronave ZEROe até 2025 para efetuar testes, enquanto que o Airbus A380 MSN1 se encontra a ser modificado para poder transportar os tanques de hidrogênio líquido e todos os sistemas de distribuição necessários para o mesmo (Milena Brasil, 2022).

Na figura 9 é apresentado o motor falado acima, desenvolvido pela Airbus.

Figura 9: Motor elétrico por células de combustível de hidrogênio, Airbus (2022), por Gousse, H



Fonte: Vinholes, T. (2022, 30 de novembro). Airbus revela motor movido a hidrogênio que será testado no A380 - Airway. Airway. (Vinholes, 2022)

Nesta vertente a Airbus tem vários projetos sendo a aeronave turbofan que tem a configuração idêntica aos Airbus utilizados hoje em dia, mas equipados com o motor acima ilustrado, com capacidade inferior a 200 passageiros, o Airbus ZEROe que é turboprop, ou seja, tem dois motores elétricos com células de hidrogênio, mas equipados com hélices e este tem capacidade inferior a 100 passageiros (Airbus, 2022)

Ainda na vertente de motor elétrico com células de hidrogênio a Airbus encontra-se a desenvolver o Airbus ZEROe BWB, que consiste numa aeronave de formato diferente e que oferece várias opções de armazenamento e distribuição de hidrogênio, sendo que os tanques se encontram localizados debaixo das asas. O mesmo tem capacidade inferior a 200 passageiros (Airbus, 2022).

A Airbus também está a conceber uma aeronave totalmente elétrica denominada Airbus ZEROe fully electrical, sendo que o mesmo integra um sistema totalmente elétrico e é movido por células de combustível (Airbus, 2022).

Nas figuras 10 a 13 encontram-se imagens que a Airbus disponibiliza no seu sítio de internet de cada conceito acima mencionado.

Figura 10: ZEROe Turbofan Concept



Fonte: Airbus (2022)

Figura 11: ZEROe Turboprop Concept



Fonte: Airbus (2022)

Figura 12: ZEROe Blended-Wing Body Concept



Fonte: Airbus (2022)

Figura 13: ZEROe Fully electrical Concept



Fonte: Airbus (2022)

Seguindo o exemplo da Airbus, encontramos a empresa brasileira Embraer que se tem vindo a destacar no que consta à fabricação de aeronaves. Esta empresa dedica-se à fabricação de aeronaves militares e comerciais (Embraer, 2023).

Na vertente comercial a mesma tem vindo a desenvolver diversas aeronaves para utilizarem combustíveis livres de emissões e para isso projetou duas versões de aeronaves para utilizarem propulsão a hidrogênio, sendo estes conhecidos como TPNG e como o nome indica os mesmos utilizam hélices, neste caso 2 hélices. A diferença entre ambas será a capacidade máxima de passageiros em que uma será de 74 e a outra de 90 passageiros e que poderá voar 1550 kms (Embraer, 2023).

A figura 14 contém a imagem do protótipo que a Embraer tem para este modelo de aeronave.

Figura 14: Aeronave TPNG



Fonte: Embraer, (2023)

No seguimento do modelo anterior a Embraer desenvolveu uma aeronave para utilizar SAF ou hidrogênio, contudo a diferenciação desta aeronave é que a mesma é equipada com turbinas a GAS, denominada Energia H2 Gas Turbine, a mesma terá capacidade para 35 e 50 passageiros e pode voar até 926 kms, sendo uma aeronave adequada a rotas regionais. A mesma será equipada com 02 hélices, conforme pode ser verificado na figura 15 (Embraer, 2023).

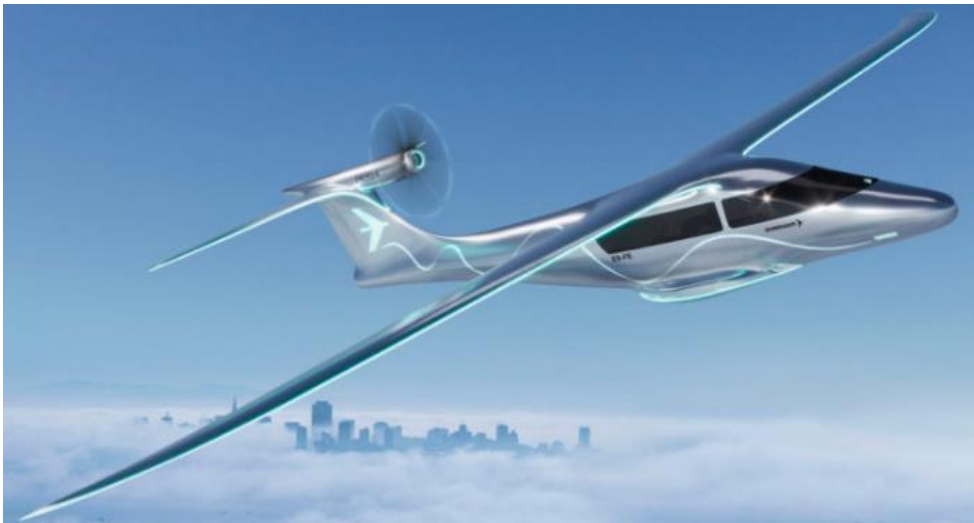
Figura 15: Aeronave Energia H2 Gas Turbine



Fonte: Embraer, (2023)

Também se encontra a desenvolver uma aeronave totalmente elétrica que prevê que o seu lançamento seja em 2035, a mesma será destinada a rotas regionais e com uma capacidade de 09 passageiros. Como é totalmente elétrica o ruído da mesma é inferior em 80% que as aeronaves convencionais. A Embraer apelidou este projeto de Energia Electric E9-FE, conforme pode ser verificado na figura 16 (Embraer, 2023)

Figura 16: Aeronave Energia Electric E9-FE



Fonte: Embraer, (2023)

A Embraer lançou o negócio Eve Air Mobility, cujo negócio se destina a um novo segmento de mercado que consiste no transporte aéreo urbano e para tal desenvolveu a aeronave eVTOL da Eve pensado na mobilidade de pessoas sem congestionamento e poluição. A Eve atualmente para além da construção e certificação da aeronave eVTOL, encontra-se a construir as infraestruturas, serviços, operações e gestão de tráfego aéreo. O eVTOL de acordo com o fabricante será o táxi do futuro e será para breve, conforme pode ser verificado na figura 17 (Embraer, 2023).

Figura 17: Aeronave eVTOL da Eve Air Mobility,



Fonte: Embraer, (2023)

Mudança na altitude de voo para minimizar o impacto ambiental

Enquanto ainda não se encontram disponíveis todas as tecnologias e motores mencionados ao longo do trabalho, as companhias aéreas e a indústria aeronáutica podem fazer pequenas mudanças no seu modo operacional, por forma a diminuir a poluição gerada durante cada voo. Ou seja, durante a deslocação da aeronave a mesma gera os Contrails, ou rasto de condensação, que consiste na formulação de nuvens lineares pela condensação dos gases provenientes dos motores das aeronaves, quando as mesmas se encontram a elevadas altitudes. Os mesmos são de pequena duração, contudo o seu efeito a nível climático é elevado, sendo que o mesmo pode ser minimizado através de mudanças na altitude de cruzeiro das aeronaves em cada voo efetuado (Teoh et al., 2020).

De acordo com o estudo efetuado por (Teoh et al., 2020) dependendo da trajetória e do espaço aéreo em que se encontra é possível diminuir a altitude em mais ou menos 2000 pés. Esta mudança pode ser levada a cabo através de desvios nas trajetórias e com os sistemas de gestão de tráfego aéreo que são utilizados atualmente, não necessitando assim de novas tecnologias nem formação para se operar com as mesmas.

Sendo desta forma uma opção eficaz para minimizar a contribuição para o aquecimento global a curto prazo e que pode ser colocado em execução de imediato (Teoh et al., 2020).

4.2. Desafios que a indústria irá enfrentar

Tecnologia em aeronaves

A atual geração de aeronaves que se encontram a operar, é mais eficiente, pois em comparação à geração que substituem tem um consumo de combustível inferior entre 15 a 20% “Estimamos que cada nova geração de aeronaves de passageiros aumenta a eficiência de combustível entre 15% e 20%”, disse a CNN Michael Gill, diretor de meio ambiente da lata (Lencastre, 2021).

Sendo que a redução de 15% no consumo de combustível é impulsionada pelas melhorias efetuadas no que diz respeito à aerodinâmica da aeronave, bem como integração de sharklets e motores CFM LEAP-X ou Pratt & Whitney PW1100G (Airbus, 2017b), bem como origina uma redução de 15% de emissão de ruído (ATAG, 2015a).

De acordo com o documento (Waypoint 2050, ATAG, 2021) prevê-se que dentro de 30 ou mais anos siga vários caminhos, na intenção de tornar a indústria limpa em emissões, contudo há estudos significativos que levam a crer que antes dos 30 anos alguma das frotas, possa convergir para o motor elétrico ou a hidrogênio. As frotas são compostas por aeronaves de 8 tamanhos diferentes, indo estes de 50 assentos a 650.

Os caminhos previstos pelo (Waypoint 2050, ATAG, 2021) são os seguintes:

- T1: Linha de base, ou seja, fabricação: conforme as aeronaves mais antigas são retiradas de serviço, são substituídas por aeronaves que já entraram ou estão prestes a entrar em serviço, como por exemplo: novas gerações de Airbus A220, A320 neo, A350, ATR 76, Boeing 737MAX, 777-X, Embraer E2 e outros. Utilizando combustível de aviação convencional ou sustentável.

Este cenário não contempla uma visão realista do futuro, contudo estabelece a linha de base para a evolução da frota.

- T2: Conservador: apenas tecnologias inovadoras: os modelos atuais acima descritos são seguidos por uma nova geração que possuem uma evolução na sua configuração de padrão “tubo e asa”, com motor de sistema de propulsão turbofan. Utilizando combustível de aviação convencional ou sustentável.
- T3: Novas configurações: configurações revolucionárias das aeronaves, incorporando novos modelos estruturais, como a asa reforçada ou asa combinada, ou conceito de motor de rotor aberto. Utilizando combustível de aviação convencional ou sustentável.
- T4: Rumo à eletrificação: rumo à propulsão elétrica, utilizando sistemas de bateria (provavelmente em aeronaves abaixo dos 100 assentos) e sistemas híbridos (em aeronaves maiores). Entrarão em serviço entre 2035-2040. Será necessário um esforço coordenado entre todos os intervenientes do sector, pois serão necessários novos sistemas de energia e carregamento.
- T5: Tecnologia aspiracional: esta mudança está subjacente em aeronaves com emissões zero e o mais provável é recorrerem a células de hidrogênio para as aeronaves de 100 a 200 assentos. Para aeronaves maiores prevê-se que sejam elétricas e híbridas. Em aeronaves maiores que as previstas no cenário T4 a eletrificação ou hibridação será a partir de 2030.

Requererá um esforço coordenado entre todos os intervenientes do sector, pois serão necessários novos sistemas de energia e carregamento.

Na tabela 3, demonstra-se os cenários acima mencionados:

Tabela 3: Cenários previstos

T ₁	Baseline	As older aircraft are retired, they are only replaced with aircraft that have entered service already, or are about to enter service (for example, new generation families: Airbus A220, A320 neo, A330 neo, A350; ATR 76; Boeing 737MAX, 777-X; Embraer E2; etc). Using conventional liquid jet fuel or sustainable aviation fuel. This scenario is not a realistic view of the future but sets a baseline for the fleet evolution.
T ₂	Conservative: evolutionary technologies only	A new generation of aircraft follows the current models (above), but still with an evolution of the standard 'tube and wing' configuration with turbofan engine propulsion system. Using conventional liquid jet fuel or sustainable aviation fuel.
T ₃	New configurations	Revolutionary configurations of aircraft incorporating new structural elements such as the strut-braced wing or blended wing body; and open rotor engine concepts. Using conventional liquid jet fuel or sustainable aviation fuel.
T ₄	Towards electrification	Technology shift towards electric propulsion using battery systems (likely below 100 seats) and hybrid systems (for larger aircraft), entering the fleet from 2035-2040. Will require coordinated effort by all parts of the sector — not just manufacturers, due to new energy systems being required.
T ₅	Aspirational technology	A revolutionary shift towards zero emissions aircraft (potentially hydrogen) for the narrow body segment from 100 to 200 seats. This also assumes electrification of the small aircraft segment and hybridisation of the larger aircraft segments. This shift would occur earlier (from 2030) and for larger aircraft than the T4 scenario. Will require coordinated effort by all parts of the sector — not just manufacturers, due to new energy systems being required.

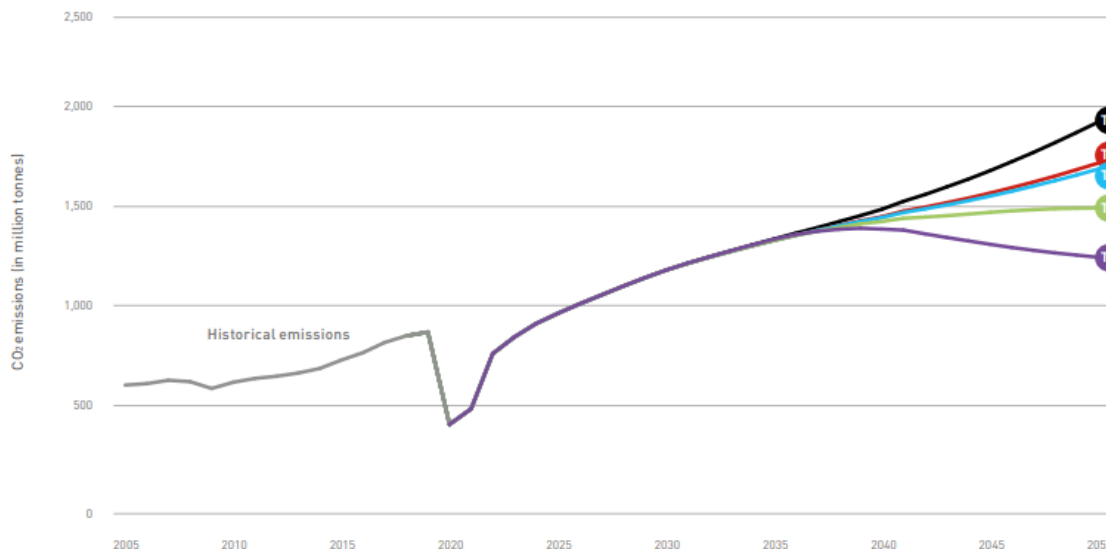
Fonte: Waypoint 2050 (ATAG, 2021)

Analisando os diversos cenários e pelo que cada um representa, pode-se dizer que no cenário T1 é o que se verifica menos impacto na redução de emissões de CO₂, sendo que o T5 é o que terá mais impacto, contudo o mais difícil de implementar, devido a todas as infraestruturas que devem ser criadas para a sua implementação.

O cenário T2 e T3 terão impactos significativos e semelhantes, enquanto que o T4 é o cenário que acredito que terá um impacto relevante e poderá ser colocado em prática com mais facilidade que o T5, embora este cenário também requeira que seja feito avultados investimentos em infraestruturas por todos os intervenientes no sector e não apenas pelos fabricantes das aeronaves.

Na tabela 4 apresenta-se as previsões propostas no documento Waypoint 2050 (ATAG, 2021).

Tabela 4: Impacto na redução de emissões de CO2 nos 5 cenários previstos



Fonte: Waypoint 2050, ATAG, (2021)

Implementação de motores elétricos, híbridos, a hidrogênio e novas configurações de fuselagem

Esta indústria é muito cautelosa na implementação das suas inovações, pois é necessário fazer inúmeros testes e proceder a várias certificações, para garantir que as mesmas se encontram dentro dos padrões de segurança estabelecidos e que não colocam a operacionalidade e a segurança da aeronave em causa. Todo este procedimento é moroso e por muitas vezes leva anos a ser executado, motivo pelo qual são lançados modelos novos praticamente apenas de 10 em 10 anos (Wyman, n.d.).

Embora exista tanta pressão para tornar este sector livre de emissões de CO2, quando os motores para aeronaves elétricos, híbridos e a hidrogênio forem uma realidade e estiverem em produção, bem como as novas configurações de fuselagem irá ser necessário se proceder à sua certificação (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Este processo é obrigatório para que as mesmas possam ser colocadas na aeronave e voarem, contudo, como se trata de tipologia de motores e fuselagem novos, será necessário elaborar procedimentos de certificação adequados às especificações e

características destes componentes de modo, a garantir o nível de segurança exigido para a aviação comercial (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Como a aviação coloca vidas em risco, a mesma encontra-se debaixo de um nível de segurança elevado exigido pelas autoridades que a regulamentam como a FAA e a EASA.

Todas estas fases de criação de procedimentos, certificações e testes serão um enorme desafio pois será tudo novo e criado especificamente para estes motores e configurações de fuselagem que demorará muito tempo a ser executado, pois requererá que sejam feitos muitos estudos (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

A juntar a todos estes elementos, há que salientar que terá de ser levado a cabo estudos para criação de infraestruturas de fornecimento de eletricidade verde de alta potência ou de hidrogênio verde ou mesmo ambas, com capacidade para reabastecer e armazenar as mesmas. Também será necessário criar procedimentos próprios para reabastecimento destas aeronaves, pois não será da mesma forma que as aeronaves com motores convencionais (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Como seria expectável é necessário e crucial verificar os desempenhos das aeronaves e suas reações nas rotas e em cenários meteorológicos diversos para verificar se é necessário fazer procedimentos para a gestão de tráfego aéreo para estas aeronaves, bem como fazer procedimentos para formar todos os recursos humanos, desde tripulações, assistentes em terra, pessoal de manutenção de linha e de grandes reparações e manutenções, como de escritório da companhia aérea que adquirir as aeronaves (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Além dos desafios acima mencionados a questão das baterias é mais uma dificuldade a enfrentar uma vez que não podem ser descartadas com facilidade, devido conterem na sua composição metais que são extremamente nocivos ao meio ambiente, inclusivamente contaminam o solo e a água (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

A juntar a todos estes desafios, não se pode deixar de mencionar que a tecnologia também é um desafio associado a esta indústria, pois a mesma ainda não está suficientemente desenvolvida para proporcionar o peso adequado para este tipo de aeronaves e não está disponível em massa, tornando-a num custo elevado para os fabricantes e posteriormente para as companhias aéreas e ainda não está dentro dos padrões de segurança que se encontram em vigor. O custo do hidrogênio e do SAF

ainda é elevado pois não há produção em massa, e tornar a sua produção em massa é mais um desafio pois requer mais infraestruturas e investimento (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Também será necessário fazer infraestruturas novas nos aeroportos e aeródromos para que seja possível reabastecer estas aeronaves durante as suas operações, bem como o seu estacionamento e hangares para procederem à sua manutenção, isto sem esquecer que será necessário formar pessoas para procederem à sua manutenção pois será um pouco diferente da feita nas aeronaves atuais (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Relativamente ao hidrogênio verde o ideal seria o mesmo ser produzido diretamente nos aeroportos, para isso vai ser necessário efetuar estudos e posteriormente obras para tornar este processo viável e assim ser mais fácil, pois transportar o mesmo será complicado (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Contudo o desafio final para a indústria será apresentar esta aeronave ao público e fazê-lo acreditar que a mesma é tão ou mais segura que as anteriores e que a mesma impulsionará a aviação, a fará mais sustentável, amiga do ambiente e rentável (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Impactos positivos dos novos combustíveis no futuro

Ao tornar a aviação mais sustentável pretende-se assim diminuir apegada ecológica proveniente da mesma (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Se a mesma for livre de emissões de CO₂, potenciará deste modo, a diminuição do aquecimento global ou manter a mesma com um aumento muito pequeno para que tudo isto seja uma realidade será necessário que todas as indústrias e países optem por utilização de energias verdes (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Iriam beneficiar com isto todos os seres vivos e o planeta, pois melhoraria a qualidade do ar que respiramos, a água dos oceanos e o solo. Sendo benéfico para todos os seres vivos do planeta (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Ao fazermos esta reflexão percebemos que podemos tornar o meio ambiente ecologicamente mais seguro, prevenindo catástrofes naturais, pois as mesmas são

potenciadas pelo aumento da poluição da camada de ozono e do aquecimento global (Waypoint 2050, ATAG, 2021).

Possibilidade de novos mercados para a utilização de aeronaves

Atualmente já são utilizados drones para fazer entregas de encomendas leves e de pequenas dimensões (Reina, 2022), o que há uns anos atrás era algo que parecia apenas uma ilusão e um sonho mais altruísta, contudo a tecnologia e o comprometimento desta indústria em tornar este sector mais atrativo, eficaz e ecológico assim o tornaram possível.

Logo, com toda a tecnologia que se encontra disponível e o constante avanço em novas tecnologias, o mercado de operação deste sector terá tendência a crescer, como por exemplo utilizar as aeronaves de pequeno porte como táxis aéreos, o que em muitas cidades seria uma mais valia, devido ao congestionamento existente nas grandes cidades e que tornam a circulação de transporte terrestre e peões e assim tornava o dia a dia nas mesmas mais fácil e menos conturbado.

Ambulâncias médicas seria outro mercado promissor, uma vez que permitirá o transporte dos doentes mais rápido que as ambulâncias tradicionais, em evacuações aquando de catástrofes naturais, como terremotos, tsunamis e outros.

O potencial de utilização de aeronaves de zero emissões de CO₂ é muito vasto e o limite é a imaginação. O mercado existe, a procura será certamente muita, pois as pessoas que tem possibilidade optam por fazer viagens curtas de helicóptero para evitarem o constante congestionamento das estradas nas grandes cidades, neste sentido apenas se trata de uma questão de investimento, de tecnologia, de produção e certificação destas aeronaves.

5. Discussão

O objetivo desta investigação foi apresentar pistas à problemática de como tornar a indústria aeronáutica mais ecológica. Através de duas questões de investigação pretendemos dar resposta a estas questões.

Q1) Qual a evolução ecológica da indústria aeronáutica?

Efetuada uma comparação entre a queima de combustível e a sua respetiva emissão de CO₂ quando a aeronave se encontra elevadas altitudes, com as emissões provenientes da mesma quando se encontra ao nível do solo, o impacto na atmosfera, quase que duplica. Deste modo, para a Indústria é muito difícil atribuir uma valorização exata e correta ao impacto das suas emissões (Moreira et al., 2018). Sendo que recorrendo à utilização de combustível sustentável, ou combustíveis alternativos, como o combustível feito através de carbono, (Lanzajet News & Insights, 2018), seria possível reduzir as emissões de CO₂, pelo que ao ter menos emissões de CO₂ teria um impacto inferior, pois a quantidade duplicada seria inferior, logo o valor final seria reduzido. Uma vez que a Indústria poderia reduzir as emissões globais de gases com efeitos de estufa entre 70% a 90% em comparação com o combustível proveniente de combustíveis fósseis (Transição Energética e Investimentos e Comunicação Corporativa da Raízen, 2023).

Uma outra forma que permite ajudar a proceder à redução das emissões de CO₂ e a mesma seria através da diminuição do peso das aeronaves, para tal seria necessário aumentar a utilização de compósitos durante o processo da fabricação das estruturas da aeronave, ou seja, efetuar mais peças e componentes da fuselagem através da utilização de fibras de carbono e de vidro (Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2015), bem como recorrendo à utilização de Plástico Reforçado com Fibra de Carbono, materiais de origem biológica, como a seda de aranha que possui propriedades mais fortes que o aço e mais resistência que o Kevlar, e que podem ser facilmente moldadas, por forma a obter o formato pretendido, tornando a aeronave mais aerodinâmica (Airbus) e assim diminuir o seu peso e a sua resistência à deslocação do ar, que por sua vez irá originar a diminuição das emissões de CO₂ geradas.

Sendo que para proceder a uma diminuição do peso da aeronave, poderia ser conseguido através da utilização da impressão 3D para fabricação de componentes da estrutura da aeronave, uma vez que este processo permite fabricar peças de peso inferior que as fabricadas de modo tradicional, também permite aumentar o seu tempo de vida, sendo que no mesmo tempo seria possível fabricar um maior número de peças, bem que procedendo ao aumento da utilização deste processo iria diminuir os custos da matéria-prima inerente ao mesmo, impulsionando a competitividade das empresas (Mami et al., 2017).

Contudo estas não são as únicas maneiras a que a Indústria pode recorrer para reduzir a sua pegada ecológica, a mesma pode recorrer à substituição dos motores das aeronaves por motores elétricos, híbridos e a hidrogénio, embora estes motores não se encontrem disponíveis para todos os modelos de aeronaves e para todas as modalidades, uma vez que para aeronaves com capacidade superior a 200 passageiros ainda não se encontrem disponível estes motores. Para aeronaves com capacidade inferior a 200 passageiros já se encontrem vários motores em fase de teste como o motor elétrico movido a células de combustível de hidrogénio (Vinholes, 2022) e para aeronaves de menor dimensão e capacidade já se encontrem em fase de certificação motores totalmente elétricos.

Uma vez que ainda não há uma data prevista para a disponibilização destes motores para as aeronaves de médio e longo curso, e os mesmos poderão estar disponíveis apenas em 2080 ou mais tarde (Dray et al., 2022), para se reduzir as emissões de CO₂ as companhias aéreas, poderiam optar por fazerem alterações nas rotas, de modo a minimizar o impacto dos contrails na atmosfera. Os contrails são o rasto de condensação que são provenientes da condensação dos gases de exaustão dos motores e fuligem das aeronaves que se deslocam em massas de ar frias e húmidas e estes são responsáveis por uma parte significativa do impacto climático, (Lee, 2020), sendo que os mesmos ocorrem quando a aeronave se encontra a altitudes elevadas. De acordo com (Teoh et al., 2020) é possível reduzir o seu impacto negativo através de alterações da altitude praticada por rota e não seria necessário proceder a mudanças de tecnologia de controlo de tráfego.

Q1) Quais os desafios que a indústria enfrenta para se tornar mais ecológica?

De acordo com a ICAO (2022) durante a sua 41ª Assembleia é pretendido que até 2050 a Indústria anule as emissões de CO2 provenientes das aeronaves, para tal a mesma pretende recorrer a modificações das aeronaves e subcomponentes, como por exemplo, substituir os motores existentes por motores elétricos, híbridos e a células de hidrogénio. Todavia será necessário acautelar

Contudo a previsão para o lançamento de motores elétricos ou híbridos para aeronaves de pequeno porte, ou seja 9 a 50 lugares é para 2025, para aeronaves com ocupação de 50 a 100 lugares e para voos regionais a previsão de lançamento é para 2030, mas para aviões de grande porte com ocupação superior a 250 lugares não há previsão para estes motores, sendo que apenas é previsto que os mesmos sejam operados apenas com recurso a SAF, (Waypoint 2050, ATAG, 2021, pag. 48). Bem como será necessário que todos os intervenientes trabalhem em conjunto para criarem uma solução viável para estas aeronaves, bem será necessário criarem novas infraestruturas nos aeroportos para poderem receber estas aeronaves (ATAG, 2021).

Como uma das metas do LTAG é a inserção de 2% de SAF na composição do combustível utilizado em todos os voos a partir de 2025, a disponibilização do mesmo tem de ser feita de forma mais célere, ou seja, a produção do mesmo deve aumentar, sendo que o ideal seria a mesma duplicar, por forma a satisfazer esta meta, (Waypoint 2050, ATAG, 2021, pag. 66, 68).

6. Conclusão

A Indústria Aeronáutica e todos os seus intervenientes encontram-se aparentemente comprometidos em cumprir o acordo que a ICAO aceitou na sua 41ª Assembleia, para até 2050 tornar este sector livre de emissões CO₂.

Para isso todos os fabricantes de aeronaves, motores, estruturas e componentes utilizados na fabricação do mesmo se encontram envolvidos em diversos projetos para criarem a melhor solução para as aeronaves comerciais de longo curso, pois é onde o desafio é maior devido à distância que os mesmos percorrem, à capacidade de carga das aeronaves e às infraestruturas dos aeroportos (ATAG, 2021). É necessário aumentar a produção das matérias-primas utilizadas para proceder à fabricação de peças nas impressoras 3D que são o pó de titânio, de nylon e de alumínio de forma a que a mesma esteja disponível em grandes quantidades e assim diminuir os custos de produção e impulsionar a utilização deste equipamento no processo de fabricação das aeronaves (Mami et al., 2017).

Será necessário que todos os países façam um grande esforço financeiro para poderem fornecer as infraestruturas adequadas aquando da implementação de aeronaves movidas a motores elétricos, híbridos ou hidrogénio verde (Sousa, 2023). Para a utilização de SAF não é necessário efetuar muitas modificações nestas infraestruturas, será sim necessário aumentar a produção deste combustível e torná-lo recorrente como o combustível de aeronave tradicional (Silva, 2023). Esse será outro tema onde deverá ser feito investimento por parte dos países e dos produtores desta matéria, bem como de hidrogénio verde. Contudo é preciso criar as condições para que estas produções sejam executadas através de processos neutros de emissões de CO₂, o que exigirá estudos para determinar os processos e meios mais adequados (Ferreira, 2022).

Convencer o público em optar por voar em aeronaves neutros de emissões de CO₂ será mais fácil, pois há uma grande consciencialização de que temos de preservar o meio ambiente e tentar diminuir a poluição para tentar diminuir o aparecimento de catástrofes naturais, como temos assistidos nos últimos anos (ATAG, 2021).

A aeronave menos poluente e a qual poderá ser desenvolvida para a aviação comercial é a aeronave com motores movidos a hidrogénio verde, pois é de todas a mais limpa, contudo é importante que estes motores não necessitem de baterias

devido à poluição que as mesmas geram quando a sua vida útil chegar ao fim. É importante criar estes motores de forma a não necessitarem de baterias e assim garantir zero emissões e que não irá gerar mais tarde resíduos que não possam ser reciclados (Cardoso, 2022).

Ainda há um longo caminho a ser percorrido e o mesmo vai ser difícil, mas os primeiros passos já foram dados e esses são sempre os mais penosos. O mais difícil foi dar início aos projetos de I&D de todo o tipo de motores e de fuselagem falada no decorrer do trabalho. De hoje em diante é aprimorar os mesmos por forma a que possam ser colocados em produção final.

De acordo com a investigação efetuada é exetável que em 2035 sejam lançados novos modelos de aeronaves equipadas com os motores, as fuselagens e tecnologias mencionadas ao longo do trabalho, sendo que até 2050 apenas servirão rodas de curto e médio curso, e as de longo curso serão operadas recorrendo a 100% de combustível sustentável. Deixando assim, a dúvida de qual será o próximo passo desta indústria após 2050. Sendo interessante estudar a viabilidade de elaborar uma aeronave com potência para efetuar viagens de Longo Curso como por exemplo o voo desde o Aeroporto Internacional John F. Kennedy situado em Nova Iorque ao Aeroporto de Changai em Singapura (Ferreira, 2023), este voo tem uma duração de 18 horas e 40 minutos e percorre 15.348 kms, em menos tempo, por exemplo reduzi-lo em 10 horas. Seria um ponto marcante para esta indústria se o conseguisse efetuar, bem como a incorporação de IA nos componentes das aeronaves e integrar o conhecimento e tecnologia aeroespacial, por forma a tornar as aeronaves mais eficientes e menos poluentes.

7. Bibliografia

Aaker, D. A. (1996). *Building Strong Brands*. [Nova York: Free Press].

Almeida, S. (2017). *Estudo sobre Perspetiva de Aplicação de Tecnologia de Manufatura Aditiva ao Setor Aeronáutico* [Tese de Mestre em Engenharia Aeronáutica Estudo sobre Perspetiva de Aplicação de Tecnologia de Manufatura Aditiva ao Setor Aeronáutico].

Altuntas, O., Sohret, Y., & Karakoc, T. H. (2019). Fundamentals of Sustainability. *Sustainable Aviation*, 3–5. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14195-0_1

ATAG (2000), *Aviation & the Environment*, Environmental Department of International Air Transport Association, Switzerland

ATAGroup, (2015). *Aviation Climate Solutions in september 2015*.

ATAG. (2021). *Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency: a vision of net-zero aviation by mid-century*. [Review of *Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency: a vision of net-zero aviation by mid-century*]. Air Transport Action Group.

Araújo, B. (2019). *Substitution of a conventional Gas Turbine by a HT-PEMFC APU*, [Tese de Mestrado em Engenharia Aeronáutica, Universidade Beira Interior Substitution of a conventional Gas Turbine by a HT-PEMFC APU].

Banif, S., Doll, C., Maibach, M., Rothengatter, W., Schenkel, P., Sieber, N., & Zueber, J. (2020). *External Costs of Transport* [Review of *External Costs of Transport*].

Barbosa, G. (2007). *Aplicação da metodologia DFMA - Design for Manufacturing and Assembly no projeto e fabricação de aeronaves* [Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica Aplicação da metodologia DFMA - Design for Manufacturing and Assembly no projeto e fabricação de aeronaves].

Besanko, David & David Dranove, & Mark Shanley, & Scott Schaefer. (2004). *Economics of strategy – third edition*. John Wiley And Sons.

Blalock, A. e Blalock, H. (1982) "Introduction to Social Research", [Prentice-Hall, New Jersey].

Bravo, R. (1975) "Técnicas de Investigación Social", ed. Paraninfo, Madrid
Caetano, R. (2012). [Produção Aeronáutica. Universidade da Beira Interior].

Britzke, P. (2022). The Introduction of Carbon Neutral Propulsion Systems and Sustainable Air Fuels in Aviation [Tese de Mestrado em Gestão de Empresas com Especialização em Estratégia e Empreendedorismo, Universidade Católica Portuguesa].

Brueckner, J. K., & Abreu, C. (2017). Airline fuel usage and carbon emissions: Determining factors. *Journal of Air Transport Management*, 62, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.01.004>

Dias, R. (2018). Estratégias de Desenvolvimento para o sucesso Estudo de Caso: TAP Air Portugal [Tese de Mestrado em Mestrado em Gestão e Estratégia Empresarial Estratégias de Desenvolvimento para o sucesso Estudo de Caso: TAP Air Portugal, Universidade Europeia].

Dooley, D. (1995) "Social Research Methods", Prentice-Hall, New Jersey

Dray, L., Schäfer, A. W., Grobler, C., Falter, C., Allroggen, F., Stettler, M. E. J., & Barrett, S. R. H. (2022). Cost and Emissions Pathways Towards net-zero Climate Impacts in Aviation. *Nature Climate Change*, 12(10), 956–962.

European Communities. (2002). Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance [Review of Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance], ISBN 92-894-3894-0, Luxembourg.

IATA. (2020). Prejuízo na indústria de aviação segue em 2021 (Issue 95) [Review of Prejuízo na indústria de aviação segue em 2021]. IATA.

Isikveren, A., Pernet, C., Vranty, P., & Schmidt, M. (2015). Conceptual Studies of Future Hybrid-Electric Regional Aircraft [Review of Conceptual Studies of Future Hybrid-Electric Regional Aircraft].

Litman, T., With, E., & Doherty. (1995). *Transportation Cost and Benefit Analysis Techniques, Estimates and Implications Second Edition* 2 January 2009.

Mami, F., Revéret, J.-P., Fallaha, S., & Margni, M. (2017). Evaluating Eco-Efficiency of 3D Printing in the Aeronautic Industry [Evaluating Eco-Efficiency of 3D Printing in the Aeronautic Industry *Journal of Industrial Ecology*, 21(S1), S37–S48].

Moreira, R., Souza, S., & Corrêa, S. (2018, June). Análise de Emissões Aeronáuticas: Estudo de caso em um aeroporto da cidade do Rio de Janeiro [Review of Análise de Emissões Aeronáuticas: Estudo de caso em um aeroporto da cidade do Rio de Janeiro]. *Sustinere*, 6(1), 3–23.

Global environmental mapping of the aeronautics manufacturing sector. (2021). *Journal of Cleaner Production*, 297, 126603.

Güngör, H. Y. (2022). A review of financial performance of aircraft leasing companies. *Journal of Aviation*, (e-ISSN 2587-1676), Artigo jav.1032824.

Hahn, T.; Figge, F.; Aragón-Correa, J.A.; Sharma, S. (2017). Advancing research on corporate sustainability: Off to pastures new or back to the roots? *Bus. Soc.*, 56, 155–185

ICAO. (2019). *Aviation Noise Impacts* [Review of Aviation Noise Impacts].

Janić, M. (1999). Aviation and externalities: the accomplishments and problems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 4(3), 159–180.

Lee, D. S. (2020). The Contribution of Global Aviation to Anthropogenic Climate Forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834.

Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 367–371. <https://doi.org/10.1038/nature15371>

Lozano, R. A holistic perspective on corporate sustainability drivers. *Corp. Soc. Responsib. Environ. Manag.* 2015, 22, 32–44.

Lucinda, C. (2012). Economia de Baixo Carbono: Avaliação de Impactos de Restrições e Perspectivas Tecnológicas [Projeto de Economia de Baixo Carbono, Universidade de Ribeirão Preto].

Penner, J. E., & Intergovernmental Panel On Climate Change. (1999). Aviation and the global atmosphere : special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Pereira, I. A. (2021). Decarbonization of the aviation sector by 2050 [Tese de Mestrado em Engenharia Aeronáutica, Universidade Beira Interior].

Quivy, R. e Campenhoudt, L. (1992) "Manual de Investigação em Ciências Sociais", Gradiva, Lisboa

Resolution A41-21: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection -Climate change. (n.d.).

Ross, L. (2018). Transport and Climate Change Global Status Report 2018 [Review of Transport and Climate Change Global Status Report 2018]. In L. M. Ross (Ed.), Partnership on Sustainable, Low Carbon Transport (SLoCaT). Slocat.

Santos, R. (2017). Fabrico de Componentes Compósitos Aeronáuticos através de Processos Out-of-Autoclave (pp. 1–107) [Dissertação de Mestrado Fabrico de Componentes Compósitos Aeronáuticos através de Processos Out-of-Autoclave].

Sêrro, B. (2016). "A política externa dos Estados Unidos da América face à União Europeia. Uma abordagem à diplomacia económica dos Estados Unidos da América para com a União Europeia, desde 2008. - Estudo de caso entre a Boeing e a Airbus" [Tese de Mestrado em Mestrado em Relações Internacionais "A política externa dos Estados Unidos da América face à União Europeia. Uma abordagem à diplomacia económica dos Estados Unidos da América para com a União Europeia, desde 2008. - Estudo de caso entre a Boeing e a Airbus"].

Schumann, U., Poll, I., Teoh, R., Koelle, R., Spinielli, E., Molloy, J., Koudis, G. S., Baumann, R., Bugliaro, L., Stettler, M., & Voigt, C. (2021). Air traffic and contrail changes over Europe during COVID-19: a model study. Atmospheric Chemistry and Physics, 21(10), 7429–7450.

Silva, L. (2023). Combustíveis Alternativos para Aviação: Potenciais e Limitações (pp. <https://repositorio.unifesp.br/bitstream/handle/11600/69805/TCC%20LucasFelinto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>) [Trabalho de conclusão de curso *Combustíveis Alternativos para Aviação: Potenciais e Limitações*].

Sustainable Aviation. (2022). In J. L. Walls & A. Wittmer (Eds.), *Management for Professionals*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-90895-9>

Teoh, R., Schumann, U., & Stettler, M. E. J. (2020). Beyond Contrail Avoidance: Efficacy of Flight Altitude Changes to Minimise Contrail Climate Forcing. *Aerospace*, 7(9), 121. <https://doi.org/10.3390/aerospace7090121>

Valadas, B., & Leite, M. (2004). *O Ruído e a Cidade* [Review of *O Ruído e a Cidade*].

Walker, T., Bergantino, A. S., Sprung-Much, N., & Loiacono, L. (Eds.). (2020). *Sustainable Aviation*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28661-3>

Whitelegg, J. (2000). *The Plane Truth: Aviation and the Environment* (N. Williams, Ed.) [Review of *The Plane Truth: Aviation and the Environment*]. ResearchGate.

Young, S. B., & Wells, A. (2011). *Airport planning and management*. McGraw-Hill.

8. Webgrafia

ACI World publishes top 20 busiest airports worldwide. (s.d.). International Airport Review. <https://www.internationalairportreview.com/news/188098/aci-world-publishes-top-20-busiest-airports-worldwide/>

Airbus. (s.d.). Airbus' ambition is to bring to market the world's first hydrogen-powered commercial aircraft by 2035. To get there, our ZEROe project is exploring a variety of configurations and technologies, as well as preparing the ecosystem that will produce and supply the hydrogen. <https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/hydrogen/zeroe>

Airbus apresenta primeira aeronave feita por impressão 3D. (n.d.). VEJA. Retrieved February 17, 2024, from <https://veja.abril.com.br/tecnologia/airbus-apresenta-primeira-aeronave-feita-por-imprensa-3d>

Airbus. (2018, 9 de abril). Bridging the gap with 3D printing. <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2018-04-bridging-the-gap-with-3d-printing>

Airbus. (2021, 21 de junho). Tomorrow's airports: Future energy ecosystems? <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2021-06-tomorrows-airports-future-energy-ecosystems>

Airbus. (2022). The cold heart that powers our ZEROe aircraft, The Countdown to ZEROe: Episode 1. <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2022-11-the-cold-heart-that-powers-our-zeroe-aircraft>

Amaral, P. (2023, 14 de outubro). Qual é o voo comercial mais longo do mundo? <https://canaltech.com.br/avioes/qual-e-o-voo-comercial-mais-longo-do-mundo/>

Avião movido a Hidrogênio: Voo sem venenos. (n.d.). Super. Retrieved February 17, 2024, from <https://super.abril.com.br/tecnologia/aviao-movido-a-hidrogenio-voo-sem-venenos>

Barros, João (2022). Avião híbrido com motor elétrico e combustível sustentável levanta voo em 2028 in 27 september 2022 in

<https://away.iol.pt/mobilidade/eletrico/aviao-hibrido-com-motor-eletrico-e-combustivel-sustentavel-levanta-voo-em-2028/20220927/633348940cf2ea367d5043ae>

Biofuels International. (2020, 24 de junho). Oil from McDonald's french fries to be converted into renewable diesel. <https://biofuels-news.com/news/oil-from-mcdonalds-french-fries-to-be-converted-into-renewable-diesel/>

Boeing. (s.d.). No futuro, não somente os carros serão elétricos. <https://www.boeing.com.br/inovacao/aviões-elétricos.page>

Brasil, M. (2022, 30 de novembro). Airbus anuncia motor a célula a combustível de hidrogênio para 2035. <https://epbr.com.br/airbus-anuncia-motor-a-celula-a-combustivel-de-hidrogenio-para-2035/>

Cardoso, M. (2022, 30 de novembro). Airbus fecha parceria para disponibilizar hidrogênio verde nos aeroportos. <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/airbus-fecha-parceria-para-disponibilizar-hidrogenio-verde-em-aeroportos.html>

Cardoso, M. (2023, 8 de agosto). Azul Conecta apresenta novo motor híbrido-elétrico. <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/azul-conecta-apresenta-novo-motor-hibrido-eletrico-na-labace-2023.html>

Collins Aerospace. (2021). Improve your crew's comfort, safety and mission readiness with Collins Aerospace NP2000 propeller system – the legacy system upgrade for mission success. <https://www.collinsaerospace.com/what-we-do/industries/military-and-defense/exterior/np2000-propeller-system>

Combustível de aviação sustentável. (n.d.). EASA. Retrieved February 17, 2024, from <https://www.easa.europa.eu/pt/light/topics/sustainable-aviation-fuel>

Diário de Notícias. (2019, 25 de outubro). Drones que fazem entregas? Não é o futuro, é o presente. <https://www.dn.pt/dinheiro/drones-que-fazem-entregas-nao-e-o-futuro-e-o-presente-11446675.html>

U.s Energy Information Administration. (2021, fevereiro). Annual Energy Outlook 2021. https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/AEO_Narrative_2021.pdf

Embraer. (s.d.). Concepts Future Aircraft Concepts. <https://embraercommercialaviationsustainability.com/concepts/>

Ep Opinião. (2023, 24 de agosto). Os combustíveis sustentáveis de aviação e o Corsia. <https://epbr.com.br/os-combustiveis-sustentaveis-de-aviacao-saf-e-o-corsia/>

Equipe eCycle. (s.d.). Quais os impactos ambientais das viagens de avião? <https://www.ecycle.com.br/impactos-ambientais-viagem-de-aviao/>

Faster Capital. (2023, 26 de novembro). Aviação híbrida explorando o céu com aviação híbrida no mercado. <https://fastercapital.com/pt/contente/Aviacao-hibrida--explorando-o-ceu-com-aviacao-hibrida-no-mercado.html>

Ferreira, C. (2022, 18 de julho). Rolls-Royce anuncia nova etapa em programa de propulsão a hidrogênio para a aviação. <https://aeroin.net/rolls-royce-anuncia-programa-de-hidrogenio-de-ponta-e-desenvolvimentos-em-pesquisa-eletrica-hibrida/>

Ferreira, C. (2023, 29 de novembro). Para fazer história, Virgin Atlantic faz primeiro voo comercial com combustível 100% sustentável. <https://aeroin.net/para-fazer-historia-virgin-atlantic-faz-primeiro-voo-comercial-com-combustivel-100-sustentavel/>

Flightpath 2050. (2011). Europe's Vision for Aviation", Report of the High Level Group on Aviation Research. https://www.arcs.aero/sites/default/files/downloads/Bericht_Flightpath_2050.pdf

Future Flight. (2022, setembro). The Future of Advanced Air Mobility. <https://www.futureflight.aero/aircraft-program/alice>

Gianotto, J. (2022, 21 de junho). Avião da ATR realiza o primeiro voo com 100% de combustível sustentável nos tanques. <https://aeroin.net/aviao-da-atr-realiza-o-primeiro-voo-com-100-de-combustivel-sustentavel-nos-tanques/>

Glavak, S. (2022, 20 de maio). RELATÓRIO sobre a proposta de diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho que altera a Diretiva 2003/87/CE no respeitante à contribuição do setor da aviação para a meta de redução das emissões a nível de toda a economia da União e à aplicação adequada de uma medida baseada no mercado global. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2022-0155_PT.html

Heart Aerospace. (2023). ES-30 Learn more about the ES-30. <https://heartaerospace.com/es-30/>

IATA. (2022, dezembro). Global Outlook for Air Transport Sustained Recovery Amidst Strong Headwings. <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/global-outlook-for-air-transport---december-2022/>

Icao Secretariat. (2019). Chaper Five Climate Change Mitigation: Sustainable Aviation Fuels. https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019_pg171-173.pdf

INDÚSTRIA · TECNOLOGIA · INOVAÇÃO. (n.d.). Retrieved February 17, 2024, from https://www.isq.pt/wp-content/uploads/2022/06/TRUST_02.pdf

International Airport Review. (2023, 20 de julho). ACI world publishes top 20 busiest airports worldwide, in International Airport Review. <https://www.internationalairportreview.com/news/188098/aci-world-publishes-top-20-busiest-airports-worldwide/>

Lanzajet News & Insights. (2018, 10 de abril). Irgin atlantic and lanzatech celebrate as revolutionary sustainable fuel project takes flight. <https://www.lanzajet.com/news-insights/virgin-atlantic-and-lanzatech-celebrate-as-revolutionary-sustainable-fuel-project-takes-flight>

Lencastre, C. (2021, 19 de fevereiro). Combustível de aviação sustentável: a próxima escala para reduzir emissões de carbono. <https://projetocolabora.com.br/ods9/combustivel-de-aviacao-sustentavel-a-proxima-escala-para-reduzir-emissoes-de-carbono/>

Mapfre Global Risks. (s.d.). Inovação e sustentabilidade: Como reduzir as emissões na aviação. <https://www.mapfreglobalrisks.com/pt-br/gerencia-riscos-seguros/entrevistas-pt-br/inovacao-e-sustentabilidade-como-reduzir-as-emissoes-na-aviacao/>

Martins, C. (2023, 8 de agosto). Azul Conecta apresenta novo motor híbrido-elétrico para o Cessna Caravan. <https://aeroin.net/azul-conecta-apresenta-novo-motor-hibrido-eletrico-para-o-cessna-caravan/>

Monteleone, D. (2023, 5 de julho). O desafio colossal da construção de grandes aviões comerciais zero emissões. https://www.nationalgeographic.pt/ciencia/o-desafio-colossal-da-construcao-grandes-avioes-comerciais-com-zero-emissoes_2862

Openvia. (2023). Aviões eVTOL: quais são eles e a sua utilização na mobilidade aérea? <https://www.openvia.io/pt/blog/aeronaves-evtol-que-son-y-usos-en-movilidad-aerea/>

Parlamento Europeu. (2022, 14 de junho). Os números das emissões do tráfego aéreo e do transporte marítimo de mercadorias (infografia). <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20191129STO67756/os-numeros-das-emissoes-do-trafego-aereo-e-do-transporte-maritimo-de-mercadorias>

Parlamento Europeu. (2023, 13 de setembro). Comunicado de imprensa. Aviação: 70 % dos combustíveis nos aeroportos da UE serão ecológicos até 2050. <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/press-room/20230911IPR04913/aviacao-70-dos-combustiveis-nos-aeroportos-da-ue-serao-ecologicos-ate-2050>

Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge. (2015, 11 de fevereiro). A era dos Compósitos na fabricação de aeronaves. <http://blog.hangar33.com.br/a-era-dos-compositos-na-fabricacao-das-aeronaves/>

Postagem Aero. (2022, 21 de outubro). Eviation alicé – O primeiro voo do avião elétrico. <https://aeroportrasdaaviacao.com/eviation-alice-o-primeiro-voo-do-aviao-eletrico/>

Ptc Group. (2023, 4 de abril). Desafios atuais nas áreas da aeronáutica, espaço e defesa. <https://ptcgroup.global/pt/desafios-atuais-nas-areas-da-aeronautica-espaco-e-defesa/>

Raillant-Clark, W. (2022, 7 de outubro). States adopt net-zero 2050 global aspirational goal for international flight operations. <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/States-adopts-netzero-2050-aspirational-goal-for-international-flight-operations.aspx>

Reina, C. (2022, 27 de junho). Drone Delivery: Tendências e desafios para entregas com drones. <https://www.gazetadopovo.com.br/bomgourmet/negocios-e-franquias/drone-delivery-tendencias/>

Rodrigues, G. (2023, 20 de junho). Aviação global mira tecnologia para redução de emissões de CO2 até 2050. https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2023/06/20/internas_economia,1509766/aviacao-global-mira-tecnologia-para-reducao-de-emissoes-de-CO2-ate-2050.shtml

Sérvio, G. (2022, 29 de novembro). Primeiro motor de avião movido a hidrogênio é testado com sucesso pela Rolls-Royce. <https://olhardigital.com.br/2022/11/29/carros-e-tecnologia/primeiro-motor-de-aviao-movido-a-hidrogenio-e-testado-com-sucesso/>

Sousa, J. (2023, 1 de junho). Preço do SAF é principal obstáculo na descarbonização do setor da aviação, alerta Air France-KLM. <https://eco.sapo.pt/2023/06/01/preco-do-saf-e-principal-obstaculo-na-descarbonizacao-do-setor-da-aviacao-alerta-air-france-klm/>

Transição Energética e Investimentos e Comunicação Corporativa da Raízen, T. d. T. (2023, 23 de setembro). Combustível Sustentável de Aviação (SAF): O que falta para a ideia decolar no Brasil? <https://www.raizen.com.br/blog/saf-combustivel>

T&N. (2022, 6 de janeiro). O mercado mundial de carga aérea cresceu 6,9%, em 2021 face a 2019, e a IATA prevê que a tendência positiva se mantenha em 2022. <https://www.transportesenegocios.pt/iata-alta-da-carga-aerea-manter-se-a-em-2022>

Viana, P. (2020, 6 de outubro). Como funciona a propulsão com hidrogênio em aviões? <https://www.aeroflap.com.br/propulsao-com-hidrogenio-em-avioes/>.

Vinholes, T. (2022, 30 de novembro). Airbus revela motor movido a hidrogênio que será testado no A380 - Airway. Airway. <https://www.airway.com.br/airbus-revela-motor-movido-a-hidrogenio-que-sera-testado-no-a380/>

Wyman. (n.d.). <https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2023/feb/Fleet-and-MRO-Forecast-2023-2033.pdf>