

DESAFIOS DA SUSTENTABILIDADE DO NET ZERO 2050 NOS OPERA- DORES AÉREOS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS E CARGA

Caso de estudo da Emirates e DHL

TIAGO ALEXANDRE FERNANDES DE FREITAS

Prova destinada à obtenção de grau de:

Mestre em Operações de Transporte Aéreo

Julho 2025

VERSÃO DEFINITIVA

ISEC LISBOA | INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS

Escola de Gestão, Engenharia e Aeronáutica

Provas para obtenção do grau de Mestre em Operações de Transporte Aéreo

DESAFIOS DA SUSTENTABILIDADE DO NET ZERO 2050 NOS OPERADORES AÉ- REOS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS E CARGA

Caso de Estudo da Emirates e DHL

Autor: Tiago Alexandre Fernandes de Freitas

Orientadora: Professora Doutora Maria Emília da Silva Baltazar

Julho 2025

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao ISEC Lisboa pelos dois anos que me permitiram a aprendizagem de temas relativos à aviação, juntamente com todas as ferramentas necessárias para essa mesma aprendizagem, e a todos os docentes e professores com a qual me cruzei durante toda esta etapa, tornando assim possível a realização deste projeto final de mestrado.

Agradecer, em especial, à professora que esteve envolvida comigo na realização deste projeto, a Professora Doutora Maria Emília da Silva Baltazar.

Por fim, agradecer a todos os meus familiares e amigos que sempre me incentivaram a nunca desistir e que sempre me deram o apoio necessário.

RESUMO

A crescente consciencialização global sobre os impactos das alterações climáticas e a urgência de mitigar as emissões de gases com efeito de estufa colocam o setor da aviação no centro das discussões sobre sustentabilidade ambiental. Tendo em conta que o transporte aéreo de passageiros e carga é responsável por uma parcela significativa das emissões globais de CO₂, este estudo foca-se na transição para a neutralidade carbónica até 2050 (NET ZERO 2050), explorando os principais desafios enfrentados pelos operadores do setor. A sua relevância decorre da necessidade urgente de conciliar o crescimento económico e logístico da aviação com práticas sustentáveis e ambientalmente responsáveis. O principal objetivo desta dissertação é analisar os obstáculos e estratégias adotadas por operadores aéreos de carga e passageiros, com foco nos casos da Emirates e DHL, para atingir essa meta de zero emissões líquidas até 2050. A investigação procura responder à seguinte pergunta: quais são os principais desafios e práticas que influenciam a viabilidade da descarbonização no setor da aviação comercial, em particular no transporte de carga? A metodologia adotada é de natureza qualitativa e exploratória, com base na análise documental de relatórios de sustentabilidade, literatura científica específica e análise de relatórios oficiais, complementada com uma análise comparativa entre as duas empresas estudadas. Foram aplicadas técnicas como análise, análise SWOT, PESTEL e avaliação semafórica para interpretar os dados recolhidos. Os principais resultados indicam que, embora a Emirates e a DHL demonstrem forte compromisso com a sustentabilidade, persistem desafios significativos, como os elevados custos do SAF (Sustainable Aviation Fuel), a limitada maturidade das tecnologias de propulsão elétrica e a hidrogénio, e a ausência de regulamentação internacional harmonizada. Apesar disso, ambas as empresas implementaram iniciativas com impacto positivo, como a substituição progressiva de frotas, e ações de reciclagem e compensação de carbono. Conclui-se que a transição para o NET ZERO 2050 exige ações coordenadas entre operadores, governos e fabricantes, bem como o reforço de políticas públicas de incentivo à inovação e produção de combustíveis alternativos. Este estudo contribui para o entendimento dos caminhos possíveis para a descarbonização da aviação, e sugere investigações futuras sobre: o impacto económico do SAF, o papel das infraestruturas aeroportuárias, a viabilidade das novas tecnologias em rotas regionais, e a criação de modelos comparativos de desempenho ambiental. A principal limitação do trabalho reside na ausência de dados primários, sendo recomendada a realização de entrevistas futuras com decisores e técnicos do setor.

Palavras-chave

Sustentabilidade, Operador Aéreo, Carga, Neutralidade Carbónica (*NET ZERO 2050*), Emissões

ABSTRACT

The growing global awareness of the impacts of climate change and the urgency of reducing greenhouse gas emissions place the aviation sector at the centre of discussions on environmental sustainability. Considering that air transport of passengers and cargo accounts for a significant share of global CO₂ emissions, this study focuses on the transition towards carbon neutrality by 2050 (NET ZERO 2050), exploring the main challenges faced by operators in the sector. Its relevance lies in the pressing need to reconcile aviation's economic and logistical growth with sustainable and environmentally responsible practices. The primary objective of this dissertation is to analyse the obstacles and strategies adopted by passenger and cargo air operators, with a focus on the cases of Emirates and DHL, to achieve the goal of net-zero emissions by 2050. The research aims to address the following question: what are the primary challenges and practices that impact the feasibility of decarbonization in the commercial aviation sector, particularly in cargo transport? The methodology used is qualitative and exploratory, based on document analysis of sustainability reports, relevant scientific literature, and official reports, complemented by a comparative analysis of the two companies studied. Techniques such as SWOT analysis, PESTEL analysis, and traffic-light assessment were applied to interpret the collected data. The main findings indicate that, although Emirates and DHL show a strong commitment to sustainability, significant challenges remain, such as the high cost of SAF (Sustainable Aviation Fuel), the limited maturity of electric and hydrogen propulsion technologies, and the lack of harmonised international regulation. Nevertheless, both companies have implemented initiatives with a positive impact, particularly in operational optimisation, progressive fleet replacement, and actions related to recycling and carbon offsetting. It is concluded that the transition to NET ZERO 2050 requires coordinated action between operators, governments, and manufacturers, as well as the reinforcement of public policies that support innovation and the production of alternative fuels. This study contributes to understanding the possible pathways for aviation decarbonisation and suggests future research in areas such as the economic impact of SAF, the role of airport infrastructure, the feasibility of new technologies on regional routes, and the development of comparative models of environmental performance. The main limitation of this work lies in the absence of primary data, and it is recommended that future interviews be con

Keywords

Sustainability, Air Operator, Cargo, Carbon Neutrality (NET ZERO 2050), Emissions

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
ABREVIATURAS E SIGLAS	XVII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Âmbito	1
1.3 Motivação	2
1.4 Objetivos	2
1.5 Metodologia	4
1.6 Estrutura do Trabalho	6
2 REVISÃO DA LITERATURA	9
2.1 A Evolução do Transporte Aéreo de Passageiros	9
2.2 O Transporte Aéreo de Passageiros na Atualidade	11
2.3 História do transporte aéreo de carga	14
2.4 Dangerous Goods/Carga Perigosa	15
2.5 O Transporte Aéreo de Carga no Mundo	20
2.6 NET ZERO	25
2.7 SAF	29
2.8 As novas tecnologias emergentes	32
2.8.1 A eletricidade como nova ferramenta de propulsão	32
2.8.2 O hidrogénio como fonte de energia propulsora	36
3 METODOLOGIA E DADOS	43
3.1 Introdução	43
3.2 Sustentabilidade na Emirates	43
3.2.1 Redução de emissões	44
3.2.2 Consumir com responsabilidade	46
3.2.3 Preservar a vida selvagem e habitats	47

3.3	Sustentabilidade na DHL	48
3.4	Análise metodológica de objetivos propostos	53
3.4.1	Descarbonização no Transporte Aéreo: Regulamentação e Compromissos Globais	53
3.4.2	Desafios das Empresas: Custos, Tecnologia e Regulação	54
3.4.3	Impacto das Estratégias Sustentáveis rumo às Emissões Zero em 2050	54
3.4.4	Boas Práticas para um Transporte de Carga Sustentável	57
3.5	Modelo de Avaliação	57
3.6	Conclusão	59
4	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1	Descarbonização no Transporte Aéreo: Regulamentação e Compromissos Globais	61
4.2	Desafios das Empresas: Custos, Tecnologia e Regulação	63
4.2.1	Desafios Críticos por Natureza e Temporalidade	64
4.2.2	Compromissos Estratégicos de Sustentabilidade	68
4.2.3	Projetos, Ações e Iniciativas em Curso ou Planeadas	69
4.3	Impacto das Estratégias Sustentáveis rumo às Emissões Zero em 2050	73
4.3.1	Análise SWOT Emirates	74
4.3.2	Análise SWOT DHL	76
4.3.3	Análise PESTEL Emirates	78
4.3.4	Análise PESTEL DHL	79
4.4	Boas Práticas para um Transporte de Carga Sustentável	81
4.5	Conclusão	83
5	CONCLUSÃO	87
5.1	Considerações finais	87
5.2	Limitações ao estudo	90
5.3	Investigação Futura	91
	REFERÊNCIAS	93

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 QUANTIDADE DE PASSAGEIROS TRANSPORTADOS ENTRE 1970 E 2021	13
FIGURA 2 NÚMERO DE VOOS COMERCIAIS ENTRE 2020 E 2021	13
FIGURA 3 ANEXO 18 DA ICAO	16
FIGURA 4 ETIQUETAS QUE IDENTIFICAM AS MERCADORIAS PERIGOSAS SEGUNDA A CLASSE A QUE PERTENCEM	17
FIGURA 5 EXEMPLO DE EMBALAGENS ETIQUETADAS COM ETIQUETAS <i>DA</i> NGEROUS <i>GO</i> ODS	18
FIGURA 6 ETIQUETAS DE APOIO AO HANDLING	18
FIGURA 7 TRANSPORTE AÉREO DE CARGA (2013-2023)	21
FIGURA 8 CAPACIDADE DE CARGA NO PRÉ E PÓS-COVID	24
FIGURA 9 CONSUMO MÉDIO DE COMBUSTÍVEL PARA NOVOS AVIÕES A JATO, 1960–2020	27
FIGURA 10 TÉCNICAS PARA O ALCANCE DO PROGRAMA <i>NET ZERO</i>	28
FIGURA 11 DIAGRAMA DO CICLO DE VIDA DAS EMISSÕES DE CARBONO – SAF	31
FIGURA 12 ESQUEMA DOS MOTORES TURBO ELÉTRICOS	33
FIGURA 13 ESQUEMA DE MOTORES COM CONFIGURAÇÃO HÍBRIDA EM SÉRIE	35
FIGURA 14 ESQUEMA DE MOTORES COM CONFIGURAÇÃO HÍBRIDA PARALELA	35
FIGURA 15 ESQUEMA DOS MOTORES TOTALMENTE ELÉTRICOS	36
FIGURA 16 FORMAS MAIS COMUNS DE PRODUÇÃO DE HIDROGÉNIO	37
FIGURA 17 LOCALIZAÇÃO DOS TANQUES DE COMBUSTÍVEL (QUEROSENE VS HIDROGÉNIO)	38
FIGURA 18 NOVO LAYOUT DE CABINE PARA AERONAVES MOVIDAS A HIDROGÉNIO	39
FIGURA 19 CONCEITO DO MOTOR HySIITE, DESENVOLVIDO PELA PRATT & WHITNEY	40
FIGURA 20 COMPONENTES DE UM TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE HIDROGÉNIO	41
FIGURA 21 INICIATIVA DE RECILAGEM DA EMIRATES DE RECURSOS USADOS EM VOO	47
FIGURA 22 METAS DE DESCARBONIZAÇÃO	50
FIGURA 23 EFICÁCIA DAS MEDIDAS DE SUSTENTABILIDADE NAS ATIVIDADES DA DHL	52
FIGURA 24 ASPETO FINAL DE UMA ANÁLISE SEMÁFORO	54
FIGURA 26 ANÁLISE SWOT (ANÁLISE INTERNA E EXTERNA)	55
FIGURA 27 ANÁLISE SWOT (FORÇAS, FRAQUEZAS, AMEAÇAS E OPORTUNIDADES)	56
FIGURA 27 FLUXOGRAMA DO TFM	58

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 REGRAS PARA DETERMINAR SE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS PODEM SER TRANSPORTADOS PELO AR	20
TABELA 2 CLASSIFICAÇÃO DE TIPOS DE PROPULSÃO ELÉTRICA	33
TABELA 3 DESPESAS ADICIONAIS DA DHL COM A DESCARBONIZAÇÃO	52
TABELA 4 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA AVALIAÇÃO SEMAFÓRICA	61
TABELA 5 RESULTADO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO SEMAFÓRICO	62
TABELA 6 DESAFIOS CRÍTICOS POR NATUREZA E TEMPORALIDADE	65
TABELA 7 COMPROMISSOS ESTRATÉGICOS DE SUSTENTABILIDADE	68
TABELA 8 PROJETOS, AÇÕES E INICIATIVAS EM CURSO OU PLANEADAS	69

ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC – Autoridade Nacional de Aviação Civil

CG – Centro de Gravidade

CITES – Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora

CORSIA – *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*

CO₂ – Dióxido de Carbono

DDCR – *Dubai Desert Conservation Reserve*

DGR – *Dangerous Goods*

DHL – *DHL Aviation*

EAU – Emirados Árabes Unidos

EU – Europa

EUA – Estados Unidos da América

GHG – *greenhouse gases*

GSE – *Ground support equipment*

IA – Inteligência Artificial

IATA – *International Air Transport Association*

ICAO – *International Civil Aviation Organization*

HySIITE - *Hydrogen Steam Injected Intercooled Turbine Engine*

H₂ – Hidrogénio

KLM – *Royal Dutch Airlines*

KPA – *Key Performance Area*

KPI – *Key Performance Indicator*

LH₂ – Hidrogénio líquido

MENA – *Middle East and North Africa*

NOx – Óxido de Nitrogénio

ONU – Organização das Nações Unidas

PED – *Portable Equipment Device*

PMED – *Portable Medical Equipment Device*

PMI – *Purchasing Managers Index*

SAF – *Sustainable Aviation Fuel*

SBTi – *Science Based Targets*

SOP - *Standard Operating Procedures*

TFM – Trabalho Final de Mestrado

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

O setor de transporte aéreo de carga é um pilar essencial no comércio global, garantindo a movimentação rápida e eficiente de bens de alto valor. Contudo, a sua contribuição significativa para as emissões globais de gases com efeito estufa coloca este setor no centro das discussões sobre sustentabilidade ambiental. Com o objetivo global de alcançar emissões líquidas neutras até 2050, os operadores aéreos, que poderão atuar em áreas diferentes de negócio, quer sejam passageiros ou carga, enfrentam desafios técnicos, económicos e regulatórios.

1.2 ÂMBITO

Este estudo centra-se na análise dos desafios e estratégias dos operadores aéreos de transporte de passageiros e carga na concretização da meta de zero emissões globais de gases com efeito estufa para a atmosfera até 2050. A aviação é um setor essencial para a economia global, garantindo a mobilidade de pessoas e bens, mas é também um dos maiores responsáveis pelas emissões de gases com efeito de estufa. Diante dos compromissos internacionais para a sustentabilidade, os operadores aéreos enfrentam obstáculos significativos, incluindo barreiras tecnológicas, custos elevados e regulamentações rigorosas. Este trabalho foca-se na avaliação de estratégias adotadas para a descarbonização do setor, incluindo o uso de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF), melhorias na eficiência operacional e inovação tecnológica.

Como estudo de caso, serão analisadas as práticas da Emirates e DHL, duas empresas que lideram iniciativas sustentáveis no setor. A investigação procura compreender como estas companhias têm lidado com os desafios impostos pela transição ecológica e quais as lições que podem ser aplicadas a outros operadores. Além de identificar barreiras e soluções, o estudo pretende fornecer recomendações que possam apoiar a indústria aeronáutica na adoção de práticas mais sustentáveis, promovendo um equilíbrio entre crescimento económico e responsabilidade ambiental no caminho para o objetivo do NET ZERO 2050.

1.3 MOTIVAÇÃO

A crescente preocupação ambiental e os compromissos globais para a neutralidade carbónica tornam essencial a adoção de estratégias sustentáveis no setor da aviação, um dos principais emissores de gases com efeito de estufa. O transporte aéreo de passageiros e carga desempenha um papel crucial na economia global, garantindo a conectividade entre mercados e impulsionando o comércio internacional. No entanto, este setor enfrenta desafios significativos na sua transição para um modelo mais sustentável, devido à forte dependência de combustíveis fósseis, aos elevados custos de inovação tecnológica e às barreiras regulatórias. O objetivo deste estudo é analisar as estratégias adotadas pelos operadores aéreos com o intuito de reduzir a sua pegada ambiental, com um enfoque especial nos casos da Emirates e DHL, duas empresas reconhecidas pelas suas iniciativas em prol da sustentabilidade.

A investigação permite compreender os principais desafios enfrentados, como a implementação de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF), a otimização das operações e o desenvolvimento de novas tecnologias de propulsão. Ao explorar estas soluções, este trabalho pretende contribuir para o conhecimento sobre a viabilidade da descarbonização do setor e oferecer recomendações que possam apoiar os operadores aéreos na concretização da meta de zero emissões líquidas até 2050, garantindo um futuro mais sustentável para a aviação.

1.4 OBJETIVOS

A Emirates e a DHL, líderes nos setores de passageiros e carga, têm adotado estratégias diversificadas para reduzir sua pegada de carbono, no entanto, ainda há obstáculos substanciais a serem superados, incluindo o custo e a disponibilidade de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF), avanços em tecnologias de propulsão alternativa (tecnologias essas que já tendem a ter a eletricidade e o hidrogénio como aliados) e as questões de carácter regulatório internacional. Este contexto motiva a presente investigação, que procura quais as estratégias e barreiras específicas enfrentadas por essas empresas, contribuindo para a construção de soluções sustentáveis no setor.

Objetivo Geral: Identificar e analisar os desafios e estratégias de sustentabilidade ambiental de operadores aéreos de transporte de carga, com foco nos casos da Emirates e DHL, para contribuir com o alcance da meta de zero emissões líquidas até 2050.

Para concretizar a realização desse objetivo geral, torna-se importante procurar responder aos seguintes **objetivos específicos**:

- Analisar o contexto global e setorial das metas de descarbonização para o transporte aéreo de carga e passageiros, destacando as exigências regulamentares e compromissos internacionais;
- Identificar os principais obstáculos enfrentados pelas empresas, como custos, limitações tecnológicas e desafios regulatórios;
- Avaliar o impacto das estratégias de sustentabilidade dessas empresas no progresso para a meta de emissões líquidas zero até 2050;
- Delinear as boas práticas baseadas nas lições aprendidas, visando apoiar operadores de carga na construção de um setor mais sustentável.

O transporte aéreo de carga é uma peça central do comércio global, mas também uma das indústrias mais desafiadoras em termos de sustentabilidade ambiental devido à sua dependência de combustíveis fósseis e elevado impacto nas emissões de gases de efeito estufa. Apesar dos compromissos setoriais e das metas estabelecidas para alcançar emissões líquidas neutras até 2050, os operadores aéreos enfrentam obstáculos significativos, como a alta dependência de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF), limitações tecnológicas, custos elevados e lacunas regulatórias. Neste contexto, a Emirates e a DHL, reconhecidas por suas iniciativas pioneiras, representam estudos de caso relevantes para compreender as práticas e desafios na transição para operações mais sustentáveis. A problemática deste estudo reside na análise crítica desses obstáculos e estratégias adotadas por essas empresas, com o objetivo de identificar soluções viáveis que possam ser aplicadas em todo o setor. Deste modo a questão de investigação é: Quais são os principais desafios e estratégias enfrentados e implementados pelos operadores aéreos de transporte de passageiros e carga, especificamente a Emirates e a DHL, para alcançar a meta de emissões líquidas zero até 2050?

Hipóteses de Trabalho:

- **H1:** As barreiras económicas, como os altos custos de SAF e tecnologias de propulsão alternativa, são os principais obstáculos enfrentados pelos operadores aéreos de carga para alcançar o NET ZERO, até 2050;
- **H2:** A implementação de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) é a estratégia mais amplamente adotada pelas empresas no setor, mas sua eficiência é limitada pela baixa disponibilidade e elevados custos;
- **H3:** Políticas regulatórias inconsistentes e falta de alinhamento internacional dificultam a transição para operações mais sustentáveis no setor de transporte aéreo de carga;
- **H4:** As inovações tecnológicas, como propulsão elétrica ou o hidrogénio, ainda estão em estágios iniciais, mas apresentam potencial disruptivo para operações de carga aérea sustentável até 2050;
- **H5:** As práticas adotadas pela Emirates e DHL podem servir de referência para operadores de transporte de carga, desde que adaptadas às condições económicas e operacionais de cada mercado;
- **H6:** As medidas e práticas adotadas por operadores aéreos destinados ao transporte de passageiros e por operadores aéreos destinados ao transporte de carga, relativamente ao alcance do objetivo de em 2050 não emitirem gases com efeitos de estufa, tendem a ser os mesmos.

1.5 Metodologia

O tipo de investigação será uma investigação de natureza exploratória e descritiva, dado que procura compreender os desafios e as práticas adotadas pelos operadores no contexto da sustentabilidade ambiental, contribuindo com *insights* para o alcance do *NET ZERO 2050*.

A seleção dos casos de estudo recaiu sobre a Emirates e a DHL, duas empresas de referência no setor da aviação que têm demonstrado um forte compromisso com a sustentabilidade. A Emirates foi escolhida por ser um operador pioneiro em iniciativas sustentáveis, com um foco reconhecido no uso de combustível de aviação sustentável (SAF) e na otimização da eficiência operacional. Por sua vez, a DHL distingue-se pela sua estratégia abrangente de sustentabilidade, apostando na transição para combustíveis alternativos e na implementação de tecnologias inovadoras para reduzir o impacto ambiental das suas operações. A análise destas empresas permite identificar boas práticas e lições que podem contribuir para a descarbonização do setor aéreo.

A recolha de dados para este estudo será baseada em duas principais fontes de informação. Em primeiro lugar, a documentação secundária, que inclui relatórios de sustentabilidade, políticas corporativas, publicações académicas e documentos regulatórios relevantes, permitindo uma compreensão abrangente das estratégias adotadas pelas empresas analisadas. Em segundo lugar, será realizado um estudo de *benchmarking*, através da análise comparativa de iniciativas similares no setor do transporte aéreo de carga. Esta abordagem permitirá identificar tendências, boas práticas e desafios enfrentados pelas empresas na adoção de medidas sustentáveis, contribuindo para uma visão mais aprofundada sobre o tema.

Os métodos de recolha de dados adotados neste estudo incluem a análise documental e a observação indireta. A análise documental será realizada através da revisão de relatórios de sustentabilidade, publicações académicas, políticas corporativas e documentos regulatórios, permitindo compreender o contexto, as metas estabelecidas e os resultados alcançados pelas empresas em estudo. Complementarmente, a observação indireta será utilizada para analisar dados secundários, proporcionando uma visão mais detalhada e abrangente sobre as iniciativas sustentáveis no setor da aviação. Esta abordagem combinada garantirá uma base de dados robusta para avaliar as estratégias adotadas e os seus impactos na descarbonização do transporte aéreo.

A análise dos dados será realizada por meio de três métodos principais. Em primeiro lugar, a análise temática permitirá a identificação e categorização dos principais temas relacionados aos desafios e estratégias de sustentabilidade, proporcionando uma visão

detalhada das práticas adotadas pelas empresas. Em seguida, será realizada uma comparação cruzada entre os dois casos de estudo, permitindo identificar similaridades, diferenças e as melhores práticas implementadas. Por fim, a validação de hipóteses envolverá o confronto dos dados recolhidos com as hipóteses de trabalho, avaliando sua consistência e validade.

As etapas de investigação seguirão um processo estruturado. Inicialmente, será feita a definição do quadro teórico e a revisão bibliográfica para fornecer uma base sólida para o estudo. Após, serão realizados a seleção e análise dos casos de estudo, seguidos pela recolha de dados pertinentes para os casos em questão. Com os dados em mãos, proceder-se-á à análise e interpretação das informações recolhidas. Finalmente, o estudo culminará na redação do relatório final, que apresentará as conclusões obtidas e as recomendações de boas práticas para o setor de transporte aéreo de carga e passageiros.

A combinação de análise documental e estudos comparativos possibilita uma visão abrangente e detalhada das práticas e desafios enfrentados pelas empresas. O método qualitativo é adequado para investigar as complexidades associadas às estratégias de sustentabilidade no transporte aéreo de carga, considerando variáveis económicas, tecnológicas e regulamentares que influenciam as operações e políticas das empresas. Esta metodologia garante uma abordagem sistemática e fundamentada para responder à questão de investigação e atingir os objetivos propostos, fornecendo subsídios relevantes para a descarbonização do setor.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este TFM está organizado em cinco capítulos principais. Os temas e a organização destes capítulos de tese podem ser resumidos da seguinte forma:

- O capítulo 1 descreverá o contexto do TFM explicando o âmbito e o foco do trabalho de investigação, apresentando o problema abordado pelo TFM e os objetivos a atingir, bem como a abordagem adotada para a resolução do problema, seguido da descrição da organização e estrutura da tese.

- O Capítulo 2 apresentará uma revisão sistemática dos trabalhos publicados sobre estudos de combustíveis sustentáveis e inovações tecnológicas, com enfoque no objetivo NET ZERO 2050.
- O Capítulo 3 abordará a análise das estratégias de sustentabilidade adotadas pela Emirates e pela DHL, focando os compromissos, projetos e iniciativas implementados para atingir a neutralidade carbônica até 2050. Será também apresentada a metodologia aplicada na investigação, com a descrição dos procedimentos de coleta e análise dos dados.
- No Capítulo 4 serão apresentados e discutidos, criticamente, os principais resultados obtidos, avaliando criticamente os compromissos assumidos, os desafios enfrentados e o impacto das iniciativas implementadas pelas companhias. A análise permitirá identificar os fatores críticos de sucesso e os entraves à descarbonização no setor da aviação. Serão também propostas recomendações para futuras ações sustentáveis no setor do transporte aéreo.
- No Capítulo 5 serão expostas as conclusões do estudo, através de considerações finais, limitações ao estudo e propostas de investigação futura.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A EVOLUÇÃO DO TRANSPORTE AÉREO DE PASSAGEIROS

A História da aviação mostra que, desde os seus primórdios, as pessoas tinham a vontade de voar, tendo sido registadas e contados alguns episódios dessas mesmas tentativas. Podemos, por exemplo, lembrar dos irmãos *Wright*, na Carolina do Norte (EUA), que em 1903 e com a ajuda de uma catapulta, conseguiram “voar” por cerca de 12 segundos a uma altura de 37 metros (Neto & Araújo, sd).

O transporte aéreo de passageiros constituiu um marco na evolução da mobilidade humana, tendo assim proporcionado a possibilidade de haver deslocamentos rápidos, seguros e eficientes, a uma escala global. A história do transporte aéreo de passageiros tem testemunhado avanços tecnológicos, transformações sociais e económicas. Desde o primeiro voo experimental dos irmãos *Wright*, até às sofisticadas aeronaves comerciais da atualidade, o desenvolvimento desse tipo de transporte mudou a maneira como as pessoas viajam.

A ideia de voar tornou-se uma vontade forte para a humanidade por séculos, tendo sido criadas invenções rudimentares, como balões de ar quente no século XVIII, tendo estes sido dos primeiros dispositivos capazes de transportar pessoas pelo ar. Contudo, a história da aviação como é conhecida hoje, começou a criar forma no início do século XX (Barbosa,2020). Os irmãos *Wright* são conhecidos por terem realizado o primeiro voo controlado e motorizado a 17 de dezembro de 1903, com o avião *Flyer*. Embora este evento tenha marcado um momento crucial para a história da aviação, foi apenas após a Primeira Guerra Mundial que o potencial do transporte aéreo começou a ser explorado (Barbosa,2020). Foi no período da primeira guerra mundial que a indústria aeronáutica se começou a desenvolver e, com isso, tornou-se realmente necessário, logicamente, a realização de investigações científicas de forma a criar aeronaves mais rápidas e com maior autonomia (Barbosa,2020). A guerra impulsionou avanços na tecnologia aeronáutica, resultando em aeronaves maiores e mais confiáveis (Crouch, 2021).

A década de 1910 viu os primeiros esforços na aviação comercial. Foi em 1910 que surgiram as primeiras companhias aéreas, dando assim o início do desenvolvimento aeronáutico, até chegar à aviação que conhecemos hoje. Em 1914, a primeira rota aérea de passageiros oficialmente criada aconteceu entre São Petersburgo e Tampa, operada por um hidroavião Benoist XIV. Este serviço foi limitado, mas demonstrou que o transporte aéreo poderia ser uma alternativa viável ao transporte marítimo e ferroviário (Davies, 2011).

Nos anos 1920 e 1930, operadores aéreos como a KLM (fundada em 1919 e a mais antiga em operação atualmente) e a Lufthansa (criada em 1926) começaram a estabelecer rotas aéreas regulares. Esses operadores aéreos utilizavam aeronaves primitivas, como o Junkers F13, feitas de metal e capazes de transportar pequenos grupos de passageiros com um conforto limitado (Kraus, 2011). Paralelamente, os avanços tecnológicos, como o desenvolvimento de motores mais potentes e instrumentos de navegação aprimorados, tornaram os voos mais seguros e autônomos. A introdução de aeronaves que se revelaram icônicas, como o Douglas DC-3 em 1936, revolucionou a aviação comercial tornando assim possível oferecer uma maior capacidade de passageiros, economia operacional e alcance (Kraus, 2011).

Com o final da Segunda Guerra Mundial, deu-se início a um período de crescimento extraordinário do transporte aéreo. Durante a guerra, foram feitos avanços enormes na tecnologia usada nas aeronaves, incluindo o aprimoramento de motores a jato e fuselagens pressurizadas e mais bem construídas. Após a guerra, muitas dessas inovações foram adaptadas para uso civil (Fay & Oliveira, sd).

As décadas seguintes de 1950 e 1960 são consideradas a "Era de Ouro" da aviação comercial, pois foi nessa época da história que as aeronaves comerciais começaram a dominar os céus: foi introduzido o Boeing 707, lançado em 1958, tendo sido a primeira aeronave a jato de sucesso comercial, permitindo viagens transatlânticas rápidas e mais confortáveis. Este período também viu a introdução e criação de aeroportos modernos e a criação de sistemas fixos de operações de voo (Fay & oliveira, sd). Segundo o mesmo autor, com o aumento da acessibilidade das viagens aéreas, o transporte aéreo tornou-se um fenômeno, atraindo uma grande variedade de passageiros.

O século XXI trouxe novos desafios e oportunidades para o transporte aéreo de passageiros. Por exemplo a preocupação com a sustentabilidade ambiental levou à procura por combustíveis alternativos que provocassem uma menor pegada de carbono para a atmosfera e aeronaves mais eficientes. Desta forma, o setor também testemunhou a ascensão das companhias aéreas de baixo custo, como Easyjet e Southwest Airlines, que democratizaram o acesso ao transporte aéreo, especialmente em mercados emergentes (Oum & Zhang, 2010).

Além disso, avanços tecnológicos continuam a transformar a experiência de voar, as aeronaves mais modernas, como o Airbus A380 e o Boeing 787 *Dreamliner*, oferecem maior conforto para os passageiros, maior eficiência energética e conectividade a bordo (Oliveira, 2008). Segundo a IATA (2024), novos conceitos, como aeronaves elétricas e híbridas, prometem redefinir o futuro do setor. A pandemia de COVID-19, no entanto, trouxe um dos maiores desafios da história da aviação comercial. Em 2020, as restrições nas viagens aéreas e a queda na procura por parte dos passageiros resultaram em perdas massivas para o setor, forçando a que o mesmo se adaptasse aos acontecimentos e se submetessem a mudanças estruturais e operacionais, ainda assim, a recuperação gradual reflete a resiliência do setor, com novos modelos de negócios e medidas de segurança aprimoradas (Lohmann, 2010).

2.2 O TRANSPORTE AÉREO DE PASSAGEIROS NA ATUALIDADE

O transporte aéreo de passageiros desempenha um papel essencial na conectividade global, promovendo trocas culturais, económicas e sociais. A importância deste setor está associada à rapidez, segurança e eficiência no deslocamento entre destinos internacionais e regionais. O setor aéreo é um motor económico, que movimenta milhões de dólares anualmente e gerando milhões de postos de trabalho (IATA, 2023b). Além disso, a ICAO destaca a importância da regulamentação global para garantir operações seguras e sustentáveis, promovendo o equilíbrio entre crescimento e responsabilidade ambiental. O transporte aéreo é, portanto, um pilar indispensável para o desenvolvimento socioeconómico (ICAO, 2023).

Entre 1970 e o final da década de 2010, observou-se um crescimento constante no volume de passageiros transportados por via aérea. Este aumento pode ser atribuído a uma combinação de fatores, como o desenvolvimento das relações comerciais e a expansão do turismo internacional, a desregulamentação do mercado aéreo em várias regiões, como os Estados Unidos (após o *Airline Deregulation Act* de 1978) e a União Europeia (nos anos 1990), que aumentaram a competição e reduziram o custo das tarifas, melhorias na eficiência das aeronaves, como o uso de motores mais económicos e designs aerodinâmicos que permitiram que operadores aéreos oferecessem tarifas mais baixas, e a expansão da infraestrutura aeroportuária, em que muitos países investiram em novos aeroportos e ampliação de hubs existentes para acomodar o crescente volume de passageiros. O crescimento médio anual de passageiros variou entre 4% e 6% durante esse período, com regiões como Ásia-Pacífico e Oriente Médio apresentando taxas ainda mais expressivas devido ao aumento da classe média e a expansão de operadores aéreos de baixo custo (Silva, 2019; Oliveira, 2018).

A pandemia do Covid-19 surgiu repentinamente tendo apanhado de surpresa, não só toda a população mundial, como também empresas de todos os setores de atividade. Assim sendo, a aviação não foi exceção. Antes da pandemia, estimava-se que o volume global de passageiros atingisse 10,5 mil milhões de passageiros em 2023, ou 119% do nível de 2019 (ACI, 2024). No entanto, a projeção do volume global de passageiros mostrou-se instável e imprevisível nos anos seguintes.

A análise da Figura 1 ilustra o crescimento histórico no número de passageiros transportados mundialmente entre 1970 e 2021, e revela importantes tendências e desafios enfrentados pelo setor ao longo das décadas. A Figura 2 mostra o impacto do declínio dos voos comerciais em 2020 e 2021.

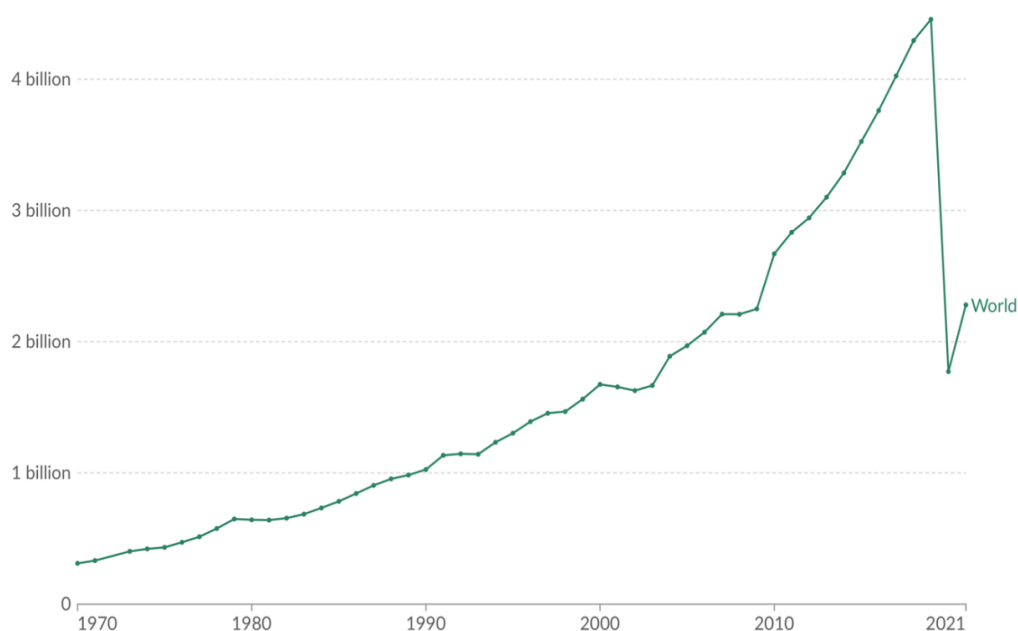


Figura 1 Quantidade de passageiros transportados entre 1970 e 2021
Fonte: (OWD, 2021)

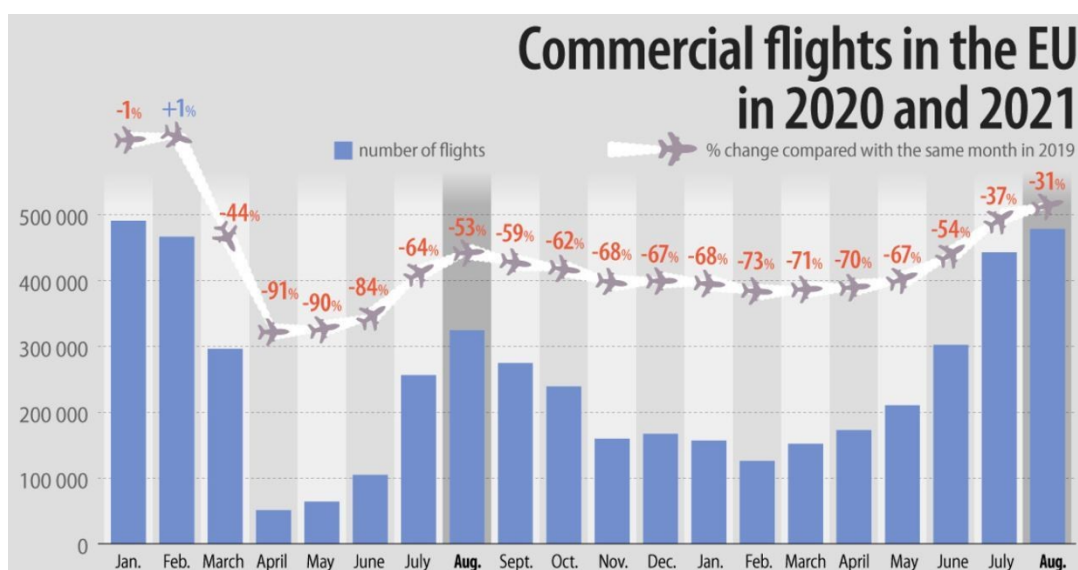


Figura 2 Número de voos comerciais entre 2020 e 2021
Fonte: (WEF, 2021)

O ano de 2020 marcou um ponto de recessão na Figura 2, com uma queda abrupta no número de passageiros transportados. Esse declínio está diretamente relacionado à pandemia de COVID-19, que trouxe restrições severas à mobilidade global, incluindo o fechamento de fronteiras, onde muitos países suspenderam voos internacionais e implementaram quarentenas obrigatórias, queda na procura por viagens devido ao medo

de contágio e as dificuldades financeiras enfrentadas pelas famílias, crise financeira no setor, onde inúmeras companhias aéreas enfrentaram falências ou precisaram de auxílio governamental para sobreviver. O impacto da pandemia resultou em uma redução global de mais de 60% no número de passageiros em 2020 em comparação a 2019, com recuperação parcial observada em 2021. A IATA projetou que o setor levará até 2024 para retornar aos níveis pré-pandemia (Ribeiro, 2021).

2.3 HISTÓRIA DO TRANSPORTE AÉREO DE CARGA

Com o fim da primeira guerra mundial, em 1918, muitos pilotos militares ficam sem atividade e os aviões militares parados. Em virtude desta situação identificaram-se desde cedo que os aviões militares não estavam adequados para o transporte de carga aérea dado os elevados custos de manutenção a que estavam sujeitos, sendo necessária uma melhor definição dos padrões de segurança e a criação de estruturas adequadas ao seu transporte (Fernandes, 2021). Ainda atualmente, o desenvolvimento de motores mais eficientes e a descoberta de materiais mais leves e resistentes permitem que os fabricantes de aeronaves, como a Airbus, projetem e construam aviões com maior autonomia, maior capacidade de peso e espaço transportado aliados a um menor consumo de combustível (Airbus, 2022).

A partir da década de 1940, começam a surgir companhias aéreas completamente dedicadas ao transporte de carga ou carga e correio, como a Air Cargo, FedEx e a UPS. Com o desenvolvimento do transporte aéreo de carga, começaram a surgir aviões ditos como exclusivamente cargueiros. Segundo o glossário da ANAC, caracteriza-se com aeronave cargueira “qualquer aeronave certificada, exclusivamente, para o transporte de carga ou correio” (ANAC, 2015). Com o surgimento de aeronaves maiores para o transporte não só de pessoas, mas também de carga e correio, como o Boeing 747 ou ainda o boeing DreamLifter ou o a330 beluga XL, que são capazes de transportar toneladas de carga num voo apenas, tornou-se possível transportar tudo com mais facilidade, desde: “alimentos congelados, produtos perecíveis diversos, equipamentos de construção, peças de automóveis e até carros completos. Aviões de carga pressurizados foram utilizados para transportar gado” (Aire, 2021).

No seguimento dos aviões cargueiros, podemos também referir as aeronaves que são convertidas em cargueiros que originalmente são construídas para o transporte aéreo de passageiros e que se tornam uma opção para muitas companhias aéreas que pretendem entrar nesta área da aviação (Mancuzo,2022). Podemos também salientar as chamadas aeronaves “combi” ou mistas, que são as aeronaves onde metade da aeronave é usada para transportar carga e o espaço restante da aeronave para transportar passageiros. No que toca a este assunto de aeronaves cargueiras, é imprescindível mencionar o *Antovov NA-225 Mriya*, a maior aeronave do mundo, mas que se assumia muito restrita aos aeroportos para onde voava tendo em conta a sua envergadura.

Uma grande vantagem das companhias aéreas de carga, é que estas estão autorizadas a transportar matérias, um tanto perigosas, e que não podem ser transportadas por companhias aéreas regulares de passageiros, aquando com passageiros a bordo. Assim sendo, é introduzido a temática das matérias “*Dangerous Goods*” ou mercadorias perigosas.

2.4 DANGEROUS GOODS/CARGA PERIGOSA

A ICAO desenvolve políticas e standards para servir globalmente os estados em relação à aviação civil internacional (ICAO, 2023). Nesse sentido, a ICAO desenvolveu 18 anexos, Figura 3, por onde todos os estados se devem basear. Um deles em específico, o anexo 18º, diz respeito a “*The Safe Transport of Dangerous Goods by Air*”.

Segundo a ICAO, mais de metade da carga transportada por todos os modos de transporte no mundo é carga perigosa, carga essa que é essencial para uma ampla variedade de requisitos e processos industriais, comerciais, médicos e de investigação globais. Devido às vantagens do transporte aéreo, grande parte dessa carga perigosa é transportada por aeronaves (ICAO, s.d.)

A ICAO reconhece a importância desse tipo de carga e tomou medidas para garantir que essa carga seja transportada com segurança. Isso foi feito adotando o Anexo 18 (Figura 3). O Anexo 18 especifica as amplas normas e práticas recomendadas a serem seguidas para permitir que mercadorias perigosas sejam transportadas em segurança. Este anexo também torna obrigatórias para os Estados Contratantes as disposições das Instruções

Técnicas, que contêm instruções muito detalhadas e numerosas necessárias para o correto manuseio de cargas perigosas (ICAO, 2011).

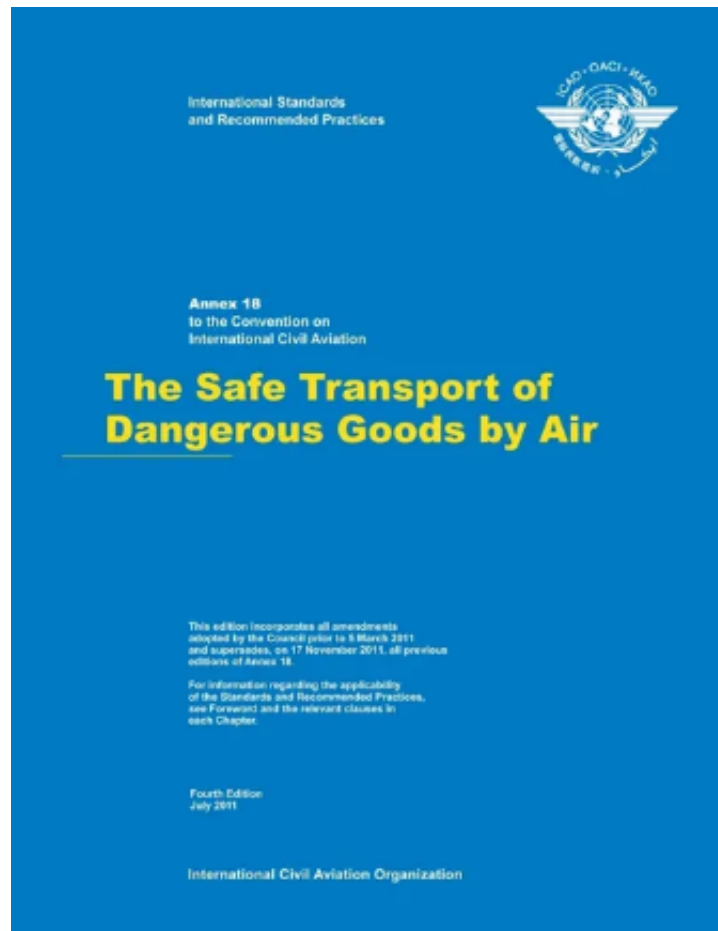


Figura 3 Anexo 18 da ICAO
Fonte: (ICAO, 2011)

Segundo a IATA (2022), podemos classificar a carga que é transportada em dois grupos:

- **Carga Geral:** toda a carga que não é considerada carga especial e que não necessita de nenhuma precaução ou tratamento extra durante o transporte aéreo.
- **Carga Especial:** carga que devido à sua natureza, peso, dimensão ou valor, necessita de cuidados especiais nomeadamente relativamente ao embalamento, etiquetagem, documentação e durante o transporte aéreo. O transporte deste tipo de carga tem de cumprir toda a regulamentação relativa ao preparo, recepção e transporte. Este tipo de carga pode incluir *dangerous goods*, animais vivos, carga molhada, carga perecível e produtos sensíveis ao tempo e temperatura. Os *dangerous goods* podem ser classificados em 9 classes, sendo elas:

- Classe 1-Explosivos
- Classe 2-Gases
- Classe 3-Líquidos Inflamáveis
- Classe 4-Sólidos Inflamáveis
- Classe 5-Substâncias Oxidantes e Peróxidos Orgânicos
- Classe 6-Substâncias Tóxicas e Infeciosas
- Classe 7-Material Radioativo
- Classe 8-Corrosivos
- Classe 9-Mercadorias Perigosas Diversas

A IATA (2022), assume as seguintes etiquetas que necessitam de identificar as mercadorias perigosas dependendo da classe a que pertencem (Figura 4):



Figura 4 Etiquetas que identificam as mercadorias perigosas segunda a classe a que pertencem
Fonte: (IATA, 2022)

As embalagens são identificadas com as respectivas marcações e etiquetas para assegurar que os perigos são reconhecidos de forma célere em caso de alguma emergência

(Fernandes, 2018). Podemos observar através da Figura 5, exemplos do aspeto com que ficam as embalagens depois de devidamente caracterizadas.



Figura 5 Exemplo de embalagens etiquetadas com etiquetas *Dangerous Goods*
Fonte: (FEDEX, 2024)

Existem também outras etiquetas que servem para dar apoio ao handling sobre como manusear corretamente todas as mercadorias, sendo elas:



Figura 6 Etiquetas de apoio ao handling
Fonte: (Fernandes, 2018)

A Figura 6 contém vários símbolos e rótulos usados em embalagens para transporte de materiais perigosos ou sensíveis, sendo elas:

1. **Magnetized Material (Material Magnetizado):** Este rótulo indica que o conteúdo possui propriedades magnéticas que podem interferir em instrumentos sensíveis, como bússolas. É comum em itens como ímãs.
2. **Caution - Damaged Packages (Cuidado - Pacotes Danificados):** O rótulo alerta para não carregar ou transportar o pacote caso esteja danificado. Pode ser usado para baterias ou outros materiais que apresentem risco, se expostos;
3. **Radioactive Material - Excepted Package (Material Radioativo - Pacote Exceção):** Este rótulo sinaliza que a embalagem contém material radioativo, mas em quantidades isentas de regulamentações completas. Inclui campos para detalhes adicionais, como o número da ONU.
4. **Cargo Aircraft Only (Somente para Aeronaves de Carga):** Indica que a carga é proibida em aeronaves de passageiros devido ao risco. Usado em itens perigosos, como químicos ou explosivos.
5. **Keep Away From Heat (Mantenha Longe do Calor):** Este rótulo adverte que o conteúdo é sensível ao calor e deve ser armazenado ou transportado longe de fontes de alta temperatura.
6. **This Way Up (Manter Para Cima):** As setas indicam a orientação correta para manuseio e transporte da embalagem.

A carga perigosa não pode ser transportada quer por passageiros quer por tripulações, seja como bagagem ou com a própria pessoa, exceto os listados no livro DGR da IATA capítulo 2.3, e mostrados na Tabela 1. Estas exceções podem, ou não, necessitar da autorização do operador aéreo e o comandante tem de estar informado da localização do artigo (António, 2022).

O transporte de dispositivos eletrónicos portáteis (PED), dispositivos eletrónicos médicos portáteis (PMED) e baterias sobressalentes por passageiros, depende da classificação de Watt-hora (Wh) para baterias de lítio ionizado (recarregáveis) ou conteúdo de metal de lítio em gramas (g) para baterias de lítio metálico (não recarregáveis). Podemos usar a seguinte tabela para saber se certos PED, PMED ou baterias sobressalentes podem, ou não, ser transportadas (António, 2022).

2.5 O TRANSPORTE AÉREO DE CARGA NO MUNDO

Segundo Aire (2021), “o lançamento da FedEx, UPS, DHL e outras companhias aéreas de serviço completo e de carga contribuiu muito para o aumento do volume de carga transportada, com cada empresa operando sua própria frota de aeronaves de carga. Sem dúvida, a erupção do comércio eletrónico global teve um maior impacto na indústria de frete aéreo. Empresas como Amazon, eBay, Target e WalMart permitem que os consumidores façam compras on-line no conforto de sua própria casa e tenham as compras entregues em apenas um dia. Esse movimento de mercadorias de um país para outro e, finalmente, para o comprador é agora uma prática comercial estabelecida.” No entanto, existem regras que precisam ser seguidas á risca, mas o manuseamento seguro das mercadorias (Tabela 1).

Tabela 1 Regras para determinar se dispositivos eletrónicos podem ser transportados pelo ar
Fonte: (António, 2022)

Valor Wh ou Conteúdo de metal Lítio (g)	Configuração	Bagagem de Mão	Bagagem Registrada	Aprovação do Operador
≤ 100 Wh / 2g	No equipamento (PED ou PMED)	SIM (Max. 15 PED/PMDE ¹)	SIM	NÃO ¹
	Bateria (s) Sobressalente (s)	SIM (Max. 20 Baterias Sobressalentes ²)	NÃO	NÃO ²
> 100 a ≤ 160 Wh	No equipamento (PED ou PMED)	SIM	SIM	SIM
	Bateria (s) Sobressalente (s)	SIM (Max. 2 Baterias Sobressalentes)	NÃO	SIM
> 160 Wh	Têm que ser preparadas e transportadas como Carga em conformidade com o <i>Dangerous Goods Regulations</i> IATA			
> 2g a ≤ 8g	No equipamento (Somente PMED)	SIM	SIM	SIM
	Bateria (s) Sobressalente (s) para PMED	SIM (Max. 2 Baterias Sobressalentes)	NÃO	SIM

1 – A cada pessoa está limitado um número máximo de 15 PED. O Operador pode aprovar o transporte de mais de 15 PED.

2 – A cada pessoa está limitado um número máximo de 20 baterias sobressalentes. O Operador pode aprovar o transporte de mais de 20 baterias.

A Figura 7 ilustra o tráfego aéreo mundial de carga ao longo dos últimos 10 anos (2013-2023) e relata a história de um setor que cresceu, enfrentou desafios e que teve de se adaptar rapidamente às mudanças que foram surgindo. O gráfico reflete o desempenho do transporte aéreo de carga, que se mostrou pouco linear tendo em conta as flutuações na economia global, a evolução do comércio internacional e os impactos de eventos inesperados, como a pandemia do *COVID-19*. Analisando os dados ano a ano, é possível entender como o setor respondeu a diferentes contextos e crises, mantendo sua relevância nas cadeias de suprimentos globais.

Entre 2013 e 2019, o tráfego aéreo de carga mundial cresceu de maneira consistente, passando de 50 milhões para 63 milhões de toneladas transportadas. Esse período foi caracterizado pelo aumento do comércio global, especialmente em setores como tecnologia, eletrônica e bens de consumo. O crescimento foi impulsionado pela globalização e pela expansão do comércio eletrônico, que se tornou uma força motriz no setor logístico. Com o aumento da conectividade digital, consumidores em todo o mundo passaram a esperar entregas rápidas e confiáveis, mesmo em transações internacionais (Aire, 2021).

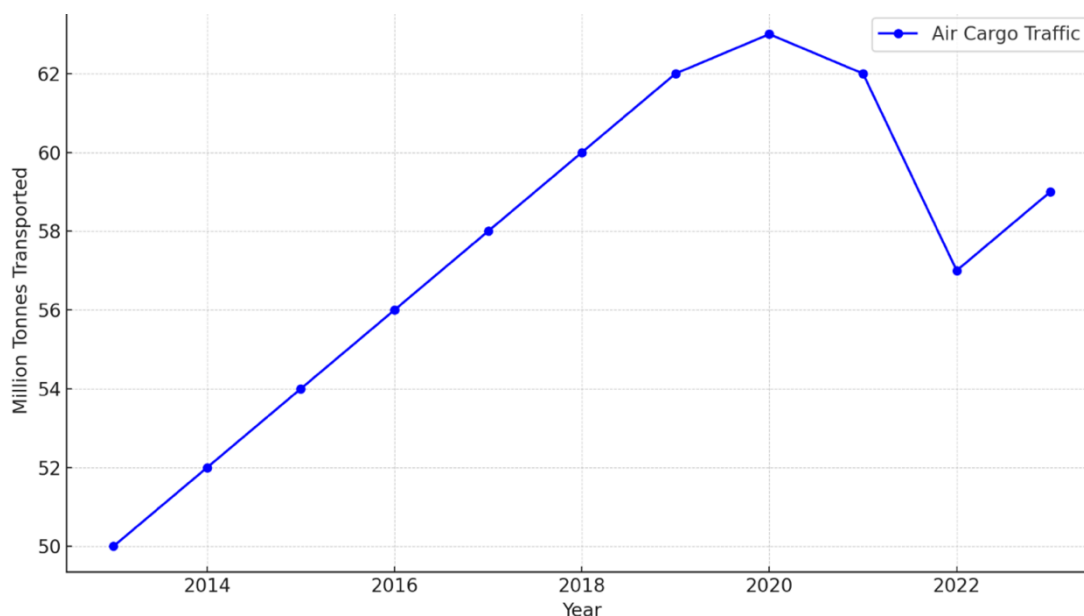


Figura 7 Transporte aéreo de carga (2013-2023)
Fonte: Elaboração Própria, adaptado de (IATA, 2023b)

Embora haja um grande avanço tecnológico e cada vez mais facilidade na compra de produtos online, é importante levarmos em conta que cada ano é um ano, sendo que

cada um representa os seus próprios problemas. Segundo a IATA (2019), “A procura por carga aérea continua enfrentando obstáculos significativos. A atividade económica global e a confiança do consumidor enfraqueceram. E o PMI, ou índice de atividade global de pedidos de fabricação e exportação, indicou uma queda nos pedidos de exportação global desde setembro de 2018” (IATA, 2019). No entanto, em 2019, verificou-se uma pequena subida do comércio global. Através do relatório anual da IATA de 2020, relativamente às atividades do transporte aéreo de carga em 2019, é possível constatar que houve apenas um crescimento de 0,9% do comércio global. O mesmo relatório continua por referir as causas que levaram a esse pequeno crescimento em 2019: “a desaceleração do crescimento do PIB nas economias com atividade intensa de manufatura, a menor confiança dos consumidores e empresas e a queda nos pedidos de exportação contribuíram para aumentar os desafios do transporte aéreo de carga” (IATA, 2020a). No entanto, é possível ler neste mesmo relatório, relativamente aos primeiros meses de 2020: “Há sinais de melhoria na confiança e no número de pedidos de transações em 2020”, Figura 8 (IATA, 2020a). Nesse sentido, será que o transporte aéreo de carga conseguiu resistir nos meses seguintes de 2020 como o relatório sugere?

O ano de 2020 marcou uma reviravolta significativa no setor, com o tráfego de carga caindo de 63 milhões para cerca de 57 milhões de toneladas. A pandemia de *COVID-19* trouxe desafios inéditos, interrompendo as operações logísticas em escala global. Com as restrições de mobilidade e o fechamento de fronteiras, muitas companhias aéreas foram forçadas a reduzir drasticamente suas operações. O transporte aéreo de carga, que dependia em grande parte dos porões de aeronaves de passageiros, enfrentou uma redução súbita na capacidade, pois a maioria dos voos comerciais foi suspensa (Santos, 2023; Vasconcelos, 2020). Devido a essa situação aeronaves cargueiras dedicadas a transporte de carga tornaram-se essenciais para atender à procura global, e companhias aéreas começaram a converter aeronaves de passageiros para transportar carga.

Como é possível observar através das figuras 2 e 3, a pandemia provocou uma acentuada diminuição das viagens aéreas em todo o mundo. A carga aérea, inevitavelmente, também sofreu com este novo vírus. O *Covid-19* provocou uma baixa na procura por voos em todo o mundo, fronteiras entre países foram obrigatoriamente fechadas para estrangeiros, vários voos cancelados, muitas das aeronaves por vários motivos tiveram

de voar quase ou totalmente vazias e muitas vezes frotas inteiras ficaram no chão (Vasconcelos, 2020).

Ainda assim, à medida que a pandemia ia progredindo, Delli (2021) tinha a opinião que o ritmo da recuperação seria incerto, principalmente pelos demorados processos relativos à vacinação, restrições de viagem e regras provocadas pela quarentena. No setor aéreo de carga, segundo a IATA (2020b), “a crise da *COVID-19* desafiou o setor para sua própria sobrevivência em 2020. Diante da queda de receita de meio trilhão de dólares (de US\$ 838 mil milhões em 2019 para US\$ 328 mil milhões em 2020), as companhias aéreas cortaram US\$ 365 mil milhões em custos (de US\$ 795 mil milhões em 2019 para US\$ 430 mil milhões em 2020).”

Num cenário em que o mundo estava, sem ninguém conseguir prever o que iria acontecer no futuro, o contributo que a quarentena deu acabou por gerar uma intensificação do uso das tecnologias digitais, quer seja no teletrabalho, escola à distância, utilização de plataformas de streaming, e-commerce, recursos a serviços online e, principalmente, compras digitais (Fatela, 2022). Por exemplo, relativamente a Portugal, o mesmo autor continua por dizer que “a Anacom revelou que na última semana de 2021 a utilização de internet em Portugal atingiu um total de 240 milhões de Gigabytes (Gb) consumidos. A maioria fica a cargo das redes fixas (226,3M Gb), mas os dados móveis já representam 13,4M Gb da net consumida. Na semana seguinte ao Natal, registaram-se também 743 milhões de minutos de conversas telefónicas por voz. E a grande maioria, 680 milhões, através dos telemóveis e smartphones.” Levando em conta a opinião anterior de que as compras digitais foram algo que aumentou graças a um maior uso das tecnologias digitais, seria expectável que o transporte aéreo de carga não sofresse nada, ou não sofresse tanto, em comparação com o transporte aéreo de passageiros.

O transporte aéreo de carga surge assim como uma área de resiliência para os operadores aéreos, aeroportos e *stakeholders* do transporte aéreo (Fernandes, 2021). Conseguimos perceber através da Figura 8 como o transporte aéreo de carga conseguiu demonstrar o seu valor e a adaptar-se aos tempos críticos que se avizinharam. Podemos observar que o transporte aéreo de carga teve sempre a tendência a aumentar durante os anos de 2020 e 2021, pelo facto de as aeronaves cargueiras existentes não serem

suficientes para a procura que estava a surgir e terem de optar por usar as aeronaves de transporte de passageiros para conseguir corresponder a essa procura. Muitas aeronaves de passageiros foram completamente transformadas para conseguirem adaptar-se ao novo tipo de voo que iriam fazer (Favaro, 2021).

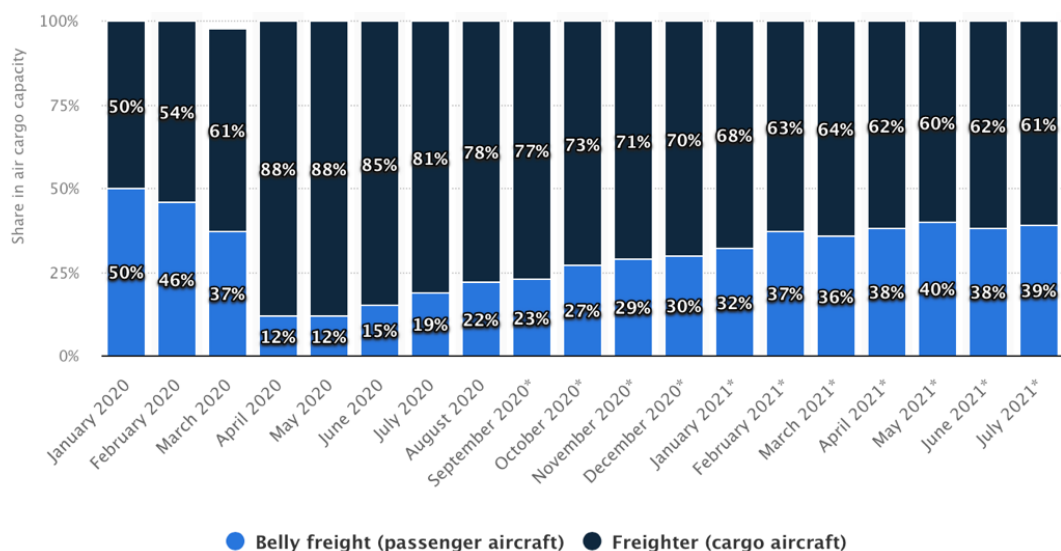


Figura 8 Capacidade de Carga no Pré e Pós-Covid
Fonte: (Statista, 2023)

No entanto, apesar das adversidades, o setor demonstrou resiliência e adaptabilidade. A necessidade urgente de transportar suprimentos médicos, como máscaras, equipamentos de proteção individual e respiradores, trouxe uma nova relevância ao transporte aéreo de carga. Outro marco importante em 2020 foi o início da distribuição de vacinas contra a *COVID-19*, que colocou o setor de transporte aéreo no centro das atenções. A logística exigiu uma organização meticulosa, devido à necessidade de manter as vacinas em temperaturas extremamente baixas durante o transporte. Esse esforço destacou a capacidade do setor de se adaptar rapidamente às necessidades críticas (Monteiro, 2022). Os operadores aéreos, por sua vez, aproveitaram a oportunidade para expandir as suas operações de carga. Muitas delas utilizaram os porões das aeronaves de passageiros para transportar mercadorias, o que se mostrou uma estratégia lucrativa. Aeronaves modernas, mais eficientes em termos de consumo de combustível, ajudaram a reduzir os custos operacionais, tornando o transporte aéreo mais competitivo em relação a outros modos, como o marítimo (Mancuzo, 2022).

Com o avanço das campanhas de vacinação e a flexibilização das restrições globais, o tráfego aéreo de carga começou a recuperar em 2021. O volume transportado aproximou-se novamente dos níveis pré-pandemia. Após um desempenho excepcional em 2021, a procura por carga aérea enfrentou declínios consecutivos em 2022, uma tendência que persistiu até julho de 2023. No entanto, agosto de 2023 marcou uma reviravolta no setor com o primeiro crescimento anual desde fevereiro de 2022 (IATA, 2023a).

Olhando para os últimos 10 anos, o setor de transporte aéreo de carga mostrou-se incrivelmente resiliente. O transporte aéreo de carga enfrentou desafios significativos, desde crises económicas até uma pandemia global, mas continuou a evoluir e a adaptar-se. O setor do transporte aéreo de carga desempenha um papel crucial na economia global, permitindo que bens essenciais, como produtos farmacêuticos, tecnologia e mercadorias de alto valor, cheguem rapidamente aos mercados de destino. À medida que avança para o futuro, o transporte aéreo de carga continuará a adaptar-se às novas procuras, incluindo a necessidade de maior sustentabilidade e eficiência. Se o transporte aéreo de carga continuar com investimentos contínuos em tecnologia, sustentabilidade e infraestruturas, estará bem posicionado para enfrentar os desafios futuros e continuar desempenhando um papel central no comércio global. O que o gráfico nos mostra não é apenas o desempenho de uma indústria, mas também a sua capacidade de se reinventar, mesmo diante das circunstâncias mais difíceis.

2.6 NET ZERO

Relativamente às emissões de gases poluentes, que acaba por ser o impacte ambiental que mais fugazmente procura ser combatido, em 2022 verificou-se um aumento de 0.9%, ou de 321 megatoneladas, comparativamente a 2021, da quantidade de dióxido de carbono emitido globalmente, atingindo as 36.8 giga toneladas. (Subbarao & Kadali, 2022). Mais especificamente ao setor do transporte, o mesmo autor refere que o mesmo no período de 2022 emitiu cerca de 785 megatoneladas de CO₂ o que significa um aumento de 15% nas emissões do setor comparativamente a 2021, o que se justifica em grande parte devido ao aumento do número de movimentos comparativamente ao período pandémico onde se registou uma diminuição dos mesmos. Contudo, comparativamente a 2019, período pré-pandémico, o setor apenas emite 80% das emissões que

emitia, representando globalmente uma fatia de 2.14% das emissões mundiais. Mais detalhadamente sobre estas emissões de 2022 do setor aeronáutico, é possível referir que 44.3% das mesmas resulta de operações domésticas, enquanto os outros 55.7% resultam de voos internacionais (Subbarao & Kadali, 2022).

Segundo o diretor geral da IATA, Willie Walsh, “as companhias aéreas de todo o mundo tomaram uma decisão importante para garantir que os voos sejam sustentáveis. A recuperação pós-*COVID-19* estará num caminho claro em direção à neutralidade carbónica. Isso garantirá a liberdade das gerações futuras para explorar, aprender, comercializar, construir mercados, apreciar culturas e conectar-se com pessoas de todo o mundo de forma sustentável. Com os esforços coletivos de toda a cadeia de valor e políticas governamentais de apoio, a aviação alcançará as zero emissões de carbono até 2050. Alcançar esse objetivo será um enorme desafio. O setor da aviação deve reduzir progressivamente as suas emissões, enquanto dá resposta à crescente procura de um mundo ávido por voar. Para poder satisfazer as necessidades dos dez mil milhões de pessoas que se prevê voarem em 2050, pelo menos 1,8 giga toneladas de carbono devem ser reduzidas nesse ano” (IATA, 2024b).

Adu-Gyamfi & Good (2022), acreditam que alcançar objetivos de descarbonização requer inovação nos sistemas de propulsão das aeronaves. Assim, a primeira medida tomada pela indústria da aviação para atingir esses objetivos foi melhorar a eficiência dos motores das aeronaves. A melhoria da eficiência de combustível foi em média de 2% ao ano, correspondendo a uma redução de 40% no consumo de combustível entre 1960 e 1995, mas atingiu um patamar de pouca evolução entre 1995 e 2005. Como ilustrado na Figura 9, a redução significativa do consumo de combustível aumentou novamente a partir de 2010. A rápida melhoria a partir de 2010 foi o resultado da introdução de motores mais eficientes em termos de combustível que foram utilizados em aeronaves de fuselagem estreita, como o Airbus A320neo e o Boeing 737 Max, bem como também a introdução de aeronaves widebody com mais recursos elétricos, como o Boeing 787 em 2010 e o Airbus A350-900 em 2015.

O *Fly Net Zero* foi um compromisso criado das companhias aéreas para atingir a redução das emissões de carbono emitidas, até 2050. Na 77ª Assembleia Geral Anual da IATA,

em Boston, as companhias aéreas membros da IATA comprometeram-se a atingir zero emissões de carbono nas suas operações até 2050. Para ter sucesso, serão necessários esforços coordenados de toda a indústria (companhias aéreas, aeroportos, prestadores de serviços de navegação aérea, fabricantes) e um apoio governamental significativo (IATA, 2024a).

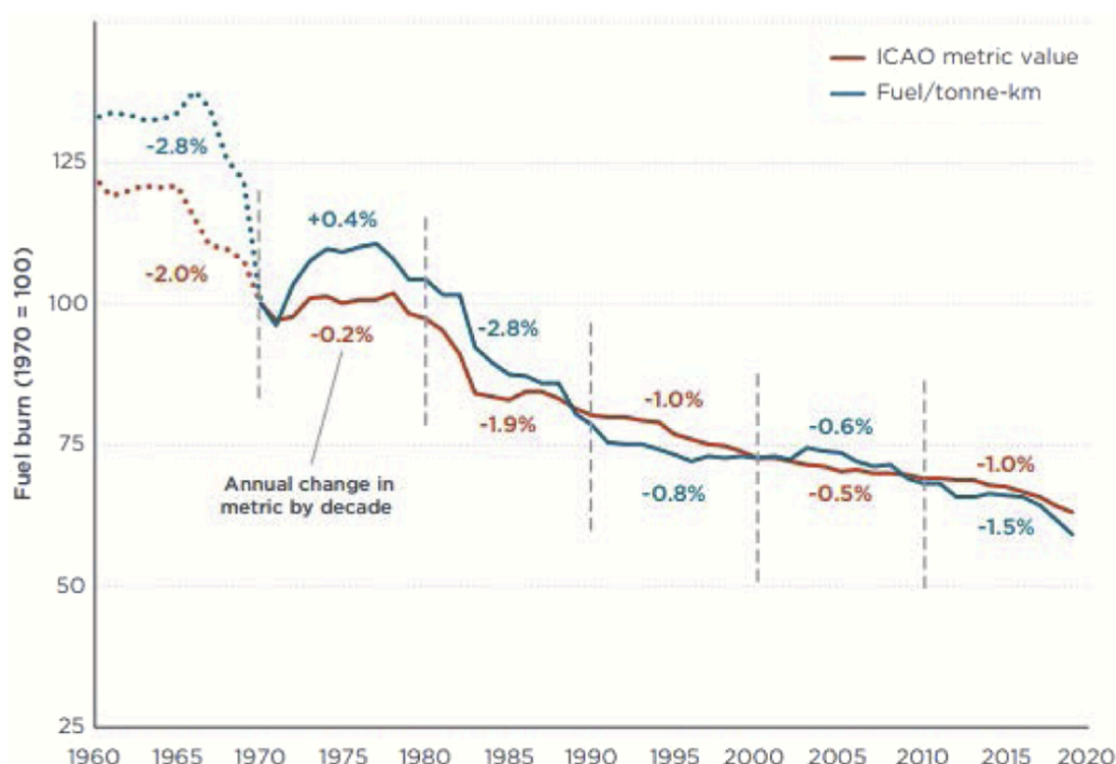


Figura 9 Consumo médio de combustível para novos aviões a jato, 1960–2020
Fonte: (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

Segundo a IATA, “as atuais projeções estimam que a procura de viagens aéreas de passageiros em 2050 poderá ultrapassar os 10 mil milhões. As emissões de carbono esperadas para 2021-2050 numa trajetória de “*business as usual*” são de aproximadamente 21,2 giga toneladas de CO₂”.

Para conseguir alcançar essa redução até 2050, a IATA admite que será exigido um esforço combinado entre a eliminação máxima de emissões na origem, tecnologias de compensação e retenção de carbono. Assim sendo, para que a emissão de carbono em

2050 seja igual a 0, é necessária uma estratégia que reúna estas condições, usando técnicas que a IATA admite serem cruciais para o cumprimento desse objetivo, Figura 10.

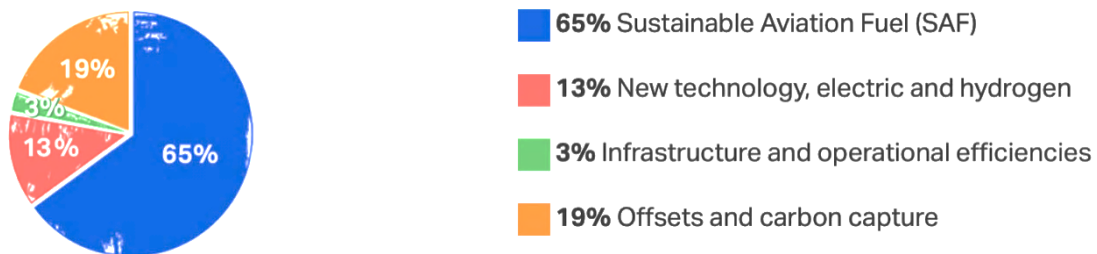


Figura 10 Técnicas para o alcance do programa *Net Zero*
Fonte: (IATA, 2024^a)

Esta transição energética para o alcance das emissões zero de carbono deve ser apoiada por um quadro político governamental centrado na concretização de soluções económicas. Isto é particularmente verdadeiro na área do SAF. A tecnologia existe, mas são necessários incentivos à produção para aumentar a oferta e reduzir os custos. Segundo o diretor geral da IATA, Willie Walsh, “os governos devem ser parceiros ativos dos operadores aéreos e dos fabricantes para alcançar a neutralidade carbónica até 2050. Tal como acontece com todas as outras transições energéticas bem-sucedidas, as políticas governamentais definiram o rumo e abriram caminho para o sucesso. Se assim não fosse, os custos e os riscos de investimento serão demasiado elevados. O foco deverá estar na redução de carbono e limitar os voos com impostos excessivos e punitivos sufocaria o investimento. Os incentivos são o caminho comprovado a seguir pois resolvem o problema, criam empregos e aumentam a prosperidade” (IATA, 2024b).

Além da ajuda governamental que já se provou ser extremamente necessário para atingir o objetivo da redução de emissões de carbono até 2050, é necessário ainda que os governos tomem outras medidas práticas para a concretização desse objetivo. Medidas essas que passam por ser : adotar normas de sustentabilidade reconhecida globalmente e trabalhar para harmonizar as normas, garantir os quadros de incentivos políticos existentes projetados para transporte terrestre, que também incluem o setor da aviação e aplicar incentivos mais elevados à aviação sobre o transporte terrestre, que tem outras energias alternativas, implementar políticas que reduzam o risco dos investimentos de

produção de SAF, envolver-se em atividades públicas para a produção e fornecimento de SAF, entre outras (IATA, 2024c).

A combinação de medidas necessárias para atingir as zero emissões de carbono para a aviação até 2050 evoluirá ao longo do compromisso com base na tecnologia mais rentável disponível em qualquer momento específico.

2.7 SAF

“SAF” (*Sustainable Aviation Fuel*) são combustíveis líquidos atualmente utilizados no setor da aviação, que podem reduzir as emissões de CO₂ em até 80%. Este tipo de combustível pode ser produzido a partir de diversas fontes, incluindo resíduos de gorduras, óleos, resíduos sólidos urbanos, agrícolas e florestais, resíduos húmidos, entre outros. Poderá também ser produzido sinteticamente através de um processo que captura de carbono diretamente do ar. Os SAFs podem ser considerados “sustentáveis”, uma vez que as suas matérias-primas não competem com culturas alimentares ou produção, nem exigem o uso incremental de recursos, como água ou terra. Ainda assim, não promovem desafios ambientais, como o desmatamento, perda de produtividade do solo ou perda de biodiversidade. Enquanto os combustíveis fósseis aumentam o nível global de CO₂, os SAFs reciclam o CO₂ absorvido pela biomassa utilizada na matéria-prima durante o curso de vida (IATA, 2024c).

A IATA estima que o SAF possa contribuir com cerca de 65% da redução de emissões necessária à aviação para atingir as zero emissões de carbono em 2050. Isto exigirá um enorme aumento da produção para corresponder à procura. O maior desenvolvimento é esperado na década de 2030, à medida que o apoio político se torna global, o SAF torna-se competitivo em relação ao querosene fóssil e as compensações credíveis tornam-se mais escassas (IATA, 2024c).

Como este tipo de combustível alternativo, o SAF ainda reúne uma série de desafios face ao rápido desenvolvimento e implantação deste mesmo combustível que incluem (IATA, 2024d):

- Apoio político insuficiente na promoção da expansão do SAF;

- Ausência de uma abordagem harmonizada na metodologia contábil do SAF;
- Falta de acesso ao SAF na logística de combustível existente e na infraestrutura aeroportuária;
- Falta de compreensão do SAF como uma medida complementar além das compensações de carbono;
- Disponibilidade limitada de matéria-prima de SAF económica e sustentável e infraestrutura de tratamento de matéria-prima, entre outras.

Num cenário base, a IATA compreende os seguintes *milestones* para atingir as zero emissões de carbono até 2050 (IATA, 2024b):

- **2025:** Com o apoio político governamental adequado, espera-se que a produção de SAF atinja 7,9 mil milhões de litros (2% da necessidade total de combustível);
- **2030:** A produção de SAF é de 23 mil milhões de litros (5,2% da necessidade total de combustível);
- **2035:** A produção de SAF é de 91 mil milhões de litros (17% da necessidade total de combustível). Tornam-se disponíveis aeronaves elétricas e/ou a hidrogénio para o mercado regional (50-100 lugares, voos de 30-90 min);
- **2040:** A produção de SAF é de 229 mil milhões de litros (39% da necessidade total de combustível). Tornam-se disponíveis aeronaves a hidrogénio para o mercado de curta distância (100-150 lugares, voos de 45-120 minutos);
- **2045:** A produção de SAF é de 346 mil milhões de litros (54% da necessidade total de combustível);
- **2050:** A produção de SAF atinge 449 mil milhões de litros (65% da necessidade total de combustível).

Comparativamente aos combustíveis fósseis (CAF), o combustível de aviação não convencional (SAF) é produzido de forma sustentável resultando numa redução das emissões do dióxido de carbono (CO₂) libertados para a atmosfera. O dióxido de carbono absorvido pelas plantas durante o crescimento da biomassa é aproximadamente equivalente à quantidade de dióxido de carbono produzida quando o SAF é queimado num motor de combustão, que é simplesmente devolvido para a atmosfera. Isto permitiria que o SAF fosse aproximadamente neutro em carbono ao longo do seu ciclo de vida. No entanto, há emissões produzidas durante a produção do SAF, provenientes dos

equipamentos necessários para o cultivo da cultura, transporte de matérias-primas, refinar o combustível e assim por diante. Quando estes elementos são levados em conta, o uso de SAF demonstra proporcionar reduções significativas nas emissões globais de CO₂ em comparação com os combustíveis fósseis, em até 80% em alguns casos. Além disso, o SAF contém menos impurezas (como enxofre), o que permite uma maior redução das emissões de dióxido de enxofre e de partículas do que a tecnologia atual consegue. No caso do SAF produzido a partir de resíduos urbanos, os ganhos ambientais derivam tanto de evitar o uso de petróleo como de evitar que esses mesmos resíduos sejam deixados a decompor-se em aterros, sem produzir quaisquer benefícios adicionais, em vez de ser usado para alimentar um voo comercial, que de outra forma seria movido por energia fóssil insustentável (IATA, 2018).

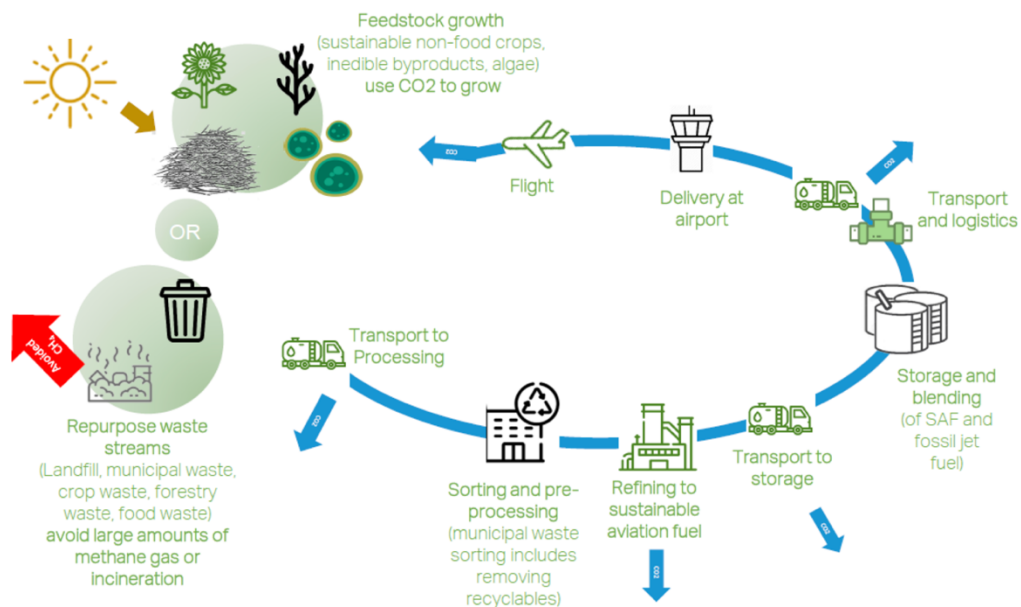


Figura 11 Diagrama do ciclo de vida das emissões de carbono – SAF
Fonte: (IATA, 2017)

A Figura 11 representa o ciclo do carbono relacionado ao Combustível de Aviação Sustentável (SAF) que ilustra o processo de redução de emissões no setor aéreo. O ciclo começa com o crescimento de matérias-primas sustentáveis, como resíduos agrícolas e algas, que capturam CO₂. Resíduos evitam emissões de metano ou incineração. Após transporte, triagem e pré-processamento, os materiais são refinados em SAF. Este combustível é armazenado, misturado com combustível fóssil e transportado para aeroportos, onde é usado em voos. Durante o uso, o SAF emite menos CO₂ comparado ao

combustível convencional, contribuindo para uma economia circular que reduz o impacto ambiental da aviação (IATA, 2017).

2.8 AS NOVAS TECNOLOGIAS EMERGENTES

Kharina et al. (2016), propõem que a taxa de redução do consumo de combustível possa ser acelerada para 2,2% ao ano, até 2034, através da adoção de tecnologias mais rentáveis. No entanto, soluções tecnológicas radicais e conceitos inovadores de propulsão e design de fuselagem serão a base para alcançar uma aviação livre de emissões.

A IATA destaca o potencial revolucionário que novos sistemas de propulsão de aeronaves e transportadores de energia, como o hidrogénio e as baterias, podem ter na redução das emissões de CO₂ do transporte aéreo global. Estas aeronaves terão inicialmente impacto principalmente nas emissões domésticas devido ao seu alcance e carga útil reduzidos, em comparação com aeronaves que se movem a combustão (IATA, 2024e). Atualmente, vão-se estudando novas formas de sistemas de propulsão que tenderão, ou não, a ser o futuro; no entanto, será analisado em seguida o uso da eletricidade e do hidrogénio como possíveis novas fontes de propulsão para a aviação.

2.8.1 A ELETRICIDADE COMO NOVA FERRAMENTA DE PROPULSÃO

Brelje & Martins (2019) classificam aeronaves elétricas pelo grau de hibridização dos seus motores, ou seja, ao uso de apenas uma fonte de energia ou uma combinação de diferentes fontes de energia para fornecer força propulsora para a aeronave.

Isikveren et al. (2014) fornecem uma definição mais detalhada de hibridização em termos de energia da bateria e potência do motor. Assim, os motores das aeronaves elétricas podem ser classificadas tendo em conta a propulsão dos mesmos, podendo ser: propulsão turbo elétrica, híbrida-elétrica e aeronaves totalmente elétricas, conforme resumido na Tabela 2.

Tabela 2 Classificação de tipos de propulsão elétrica
Fonte: (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

E-Architecture	Hybridization
Turbo-electric	A gas turbine engine drives an electric generator which provides propulsive power. No energy batteries are required.
Hybrid electric	Uses both gas turbine engines and batteries for propulsion.
All electric	Propulsive power is produced only by batteries.

2.8.1.1 Motores turbo elétricos

Adu-Gyamfi & Good (2022), explicam que os motores turbos elétricos focam-se na eletrificação incremental de motores de turbina alimentados a combustível. Neste modelo, uma ou mais turbinas a combustível acionam um gerador elétrico para produzir energia elétrica. A energia é distribuída usando conversores eletrônicos para acionar um motor elétrico ao qual uma hélice está agregada.

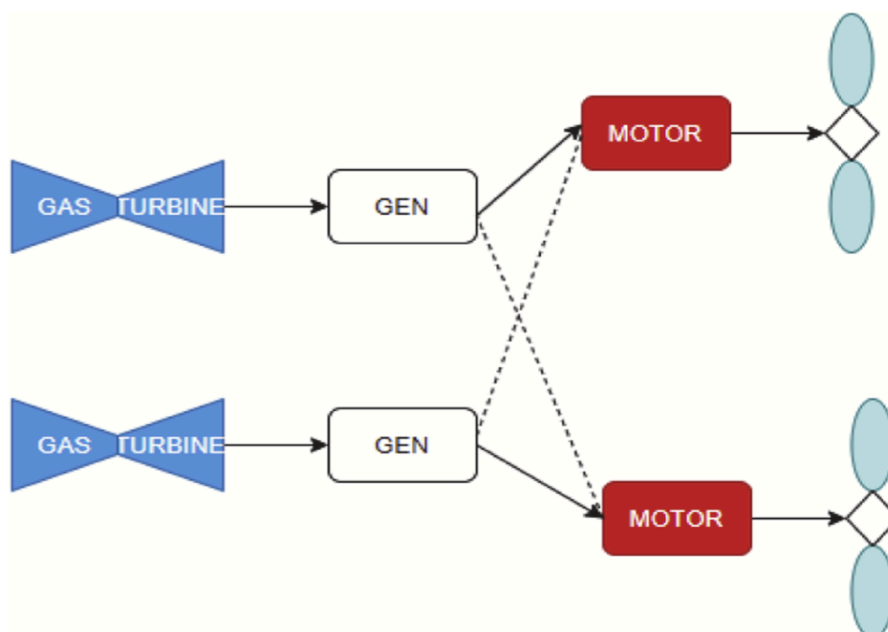


Figura 12 Esquema dos motores turbo elétricos
Fonte: (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

Conforme mostrado na Figura 12, a turbina a combustível está diretamente conectada a um gerador elétrico que gera a energia necessária para acionar os motores, utilizando assim 100% da potência de saída da turbina a combustível para gerar energia elétrica. Não existem dispositivos de armazenamento de energia (baterias) numa aeronave que

use este método de propulsão. Em motores turbos elétricos, arquiteturas turbo elétricas autónomas sofrem com perda de potência devido à conversão de energia mecânica para elétrica e, por sua vez, de volta para energia mecânica.

2.8.1.2 *Motores híbrido-elétricos*

O sucesso das aplicações dos motores híbrido-elétricos na indústria automóvel poderá ser transferível para a aviação (Adu-Gyamfi & Good, 2022). Os mesmos autores concluem que os automóveis híbridos beneficiam de maior autonomia, redução de ruído, baixas emissões e consumo mínimo de combustível, aumentando assim um interesse significativo na investigação da tecnologia dos motores híbrido-elétricos para a aviação.

Hiserote (2012), sugerem que as aeronaves também se poderiam beneficiar deste tipo de propulsão de motores, que iria diminuir o consumo de combustível, as emissões emitidas para a atmosfera, e atingir um maior alcance. No entanto, os autores questionam a aplicabilidade deste tipo de motores híbrido-elétricos para aeronaves maiores. Adu-Gyamfi & Good (2022), concluíram que a configuração deste tipo de motores é muito mais viável para aeronaves fabricadas para operações de curta duração e alta potência, como paraquedismo, do que voos convencionais de longa duração. No entanto, já estão a ser desenvolvidos projetos a ponto de contrariar essa questão.

Os motores híbrido-elétricos apresentam duas configurações possíveis de motores: configuração híbrida em série e configuração híbrida paralela (Adu-Gyamfi & Good, 2022).

Na configuração híbrida em série, a turbina a combustível é desvinculada da hélice, e o eixo da hélice é acionado apenas pelo motor elétrico. Este sistema é semelhante à arquitetura turbo elétrica, com a exceção de que, neste caso, existe uma bateria que armazena energia e contribui para a propulsão. Conforme ilustrado na Figura 13, um gerador converte a energia mecânica da turbina a combustível em energia elétrica. A energia elétrica pode então ser usada para acionar os motores elétricos diretamente ou ser armazenado em uma bateria através de um processo de carregamento (Bravo et al., 2021; Adu-Gyamfi & Good, 2022).

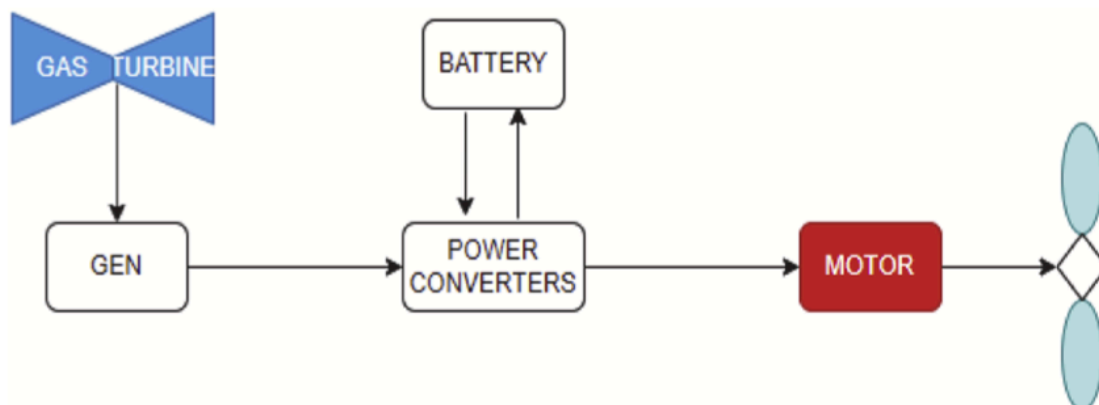


Figura 13 Esquema de motores com configuração híbrida em série
Fonte: (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

Na configuração híbrida paralela, o motor de turbina a combustível e o motor elétrico são conectados através de um acoplamento mecânico à hélice, permitindo que ambos os motores contribuam para a energia propulsora. No entanto, esta configuração provoca uma maior queima de combustível pois os motores não operam a uma velocidade constante de eficiência máxima (Figura 14). O facto de ter dois mecanismos de acionamento das hélices, tanto o motor elétrico como o motor a combustão, torna o sistema muito mais seguro. Também, quando a aeronave está a operar com o motor a combustão, o motor elétrico pode atuar como um gerador que carrega a bateria (Bravo et al., 2021). Além disso, a perda de energia devido à conversão de energia é reduzida, uma vez que esta configuração não requer conversores de energia na turbina a gás.

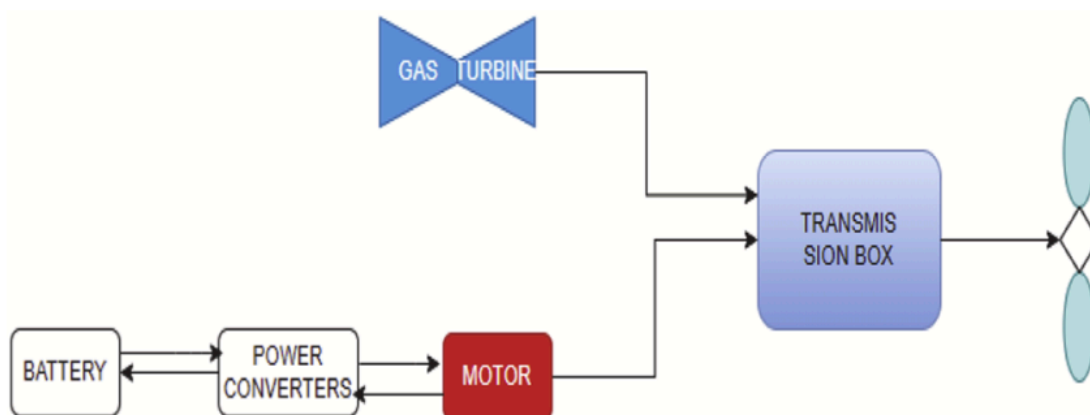


Figura 14 Esquema de motores com configuração híbrida paralela
Fonte: (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

2.8.1.3 Motores totalmente elétricos

A única fonte de energia neste tipo de motor é a bateria recarregável, conectada diretamente a uma fonte elétrica, ou seja, ao contrário dos motores híbridos, esta configuração não permite um carregamento das baterias a bordo, o que significa que as baterias precisam de ser carregadas no solo antes de qualquer voo (Figura 15). Embora as aeronaves totalmente elétricas tenham muitas vantagens, incluindo zero missões de carbono para a atmosfera, baixo ruído e redução de custos operacionais, a tecnologia não atingiu desenvolvimentos suficientes para que possíveis aeronaves equipadas com motores exclusivamente elétricos cobram as mesmas distâncias como aeronaves movidas a combustível de aviação convencional (Epstein & O'Flarity, 2019).

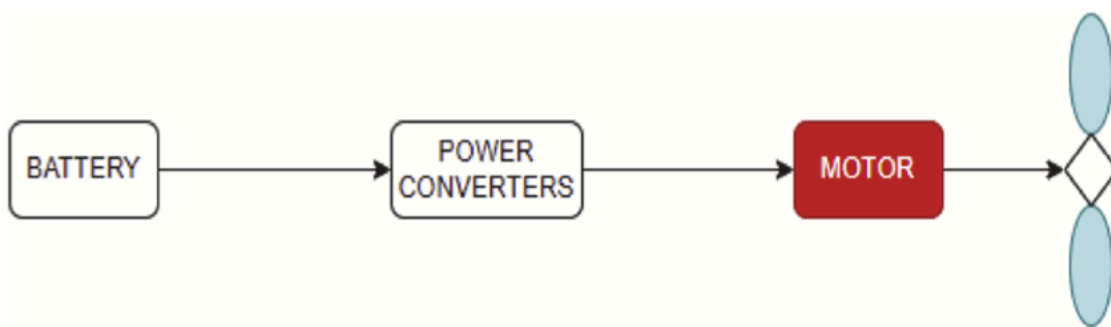


Figura 15 Esquema dos motores totalmente elétricos
Fonte: (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

2.8.2 O HIDROGÉNIO COMO FONTE DE ENERGIA PROPULSORA

Yusaf et al. (2024) concluíram que a globalização e a crescente procura energética têm aumentado a procura por combustíveis fósseis. Como resultado, vários países estão empenhados em procurar fontes alternativas de energia, sendo o hidrogénio uma opção eficiente e viável.

O hidrogénio é uma energia limpa e sustentável, uma fonte que deveria ser usada não só na aviação como em outros setores devido à redução de gases poluentes que são emitidos para o meio ambiente, bem como outros benefícios ambientais, como ser pouco inflamável, necessita apenas de uma energia mínima como fonte de ignição, grande difusividade e baixa densidade. Como o hidrogénio é um dos muitos elementos do meio ambiente, ele está facilmente disponível (Shadidi et al., 2021).

Não é possível encontrar na natureza o hidrogénio na sua forma pura (atmosfera). No entanto, pode ser produzido a partir de compostos contendo hidrogénio, como combustíveis fósseis, sulfureto de hidrogénio, biomassa e água. Assim, para adquirir hidrogénio é necessário separar as moléculas de hidrogénio dos demais elementos da combinação. No entanto, há um processo de obtenção de hidrogénio que se tornou mais comum. Devido ao seu custo mais baixo em comparação com outros métodos (menos de 2 \$/kg H₂), a reforma a vapor do metano e a gaseificação do carvão são os atuais processos industrialmente estabelecidos para a produção de hidrogénio (Shadidi et al., 2021).

A Figura 16 exemplifica diferentes formas de produção de hidrogénio.

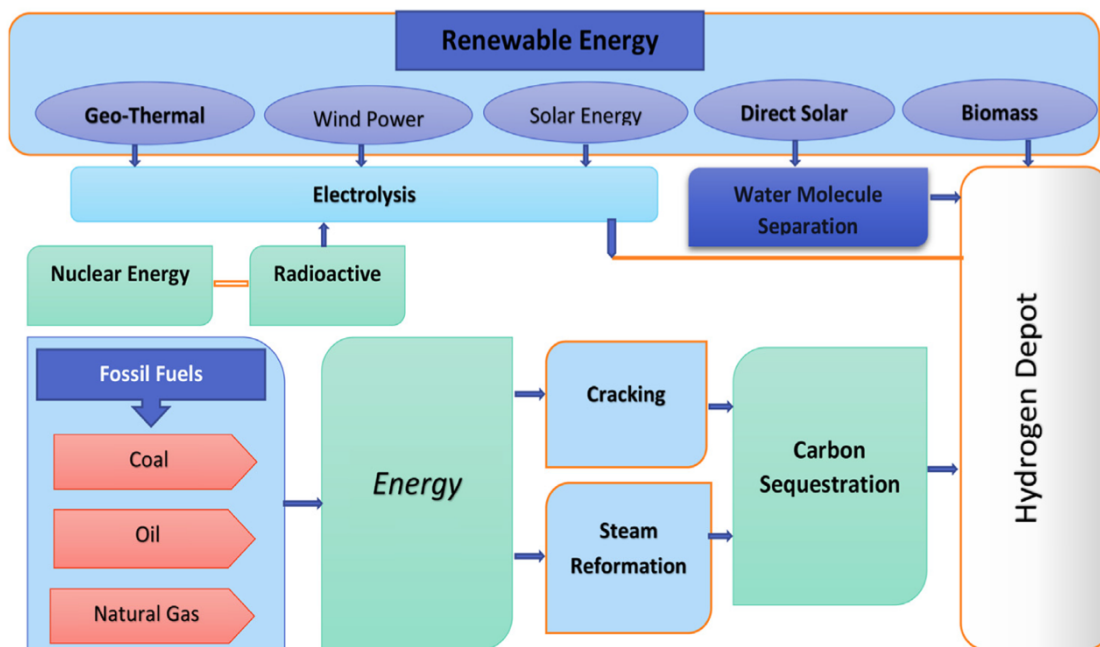


Figura 16 Formas mais comuns de produção de hidrogénio
Fonte: (Yusaf et al, 2024)

Embora o hidrogénio seja um gás com um futuro promissor na aviação, há umas questões que devem ser consideradas.

A presença de tanques de hidrogénio na fuselagem têm um impacto maior do que apenas em relação ao tamanho e ao peso da fuselagem. Como o hidrogénio não é armazenado na asa como o querosene (combustível usado na aviação atualmente), a falta desse peso na asa fará com que as asas sejam construídas mais pesadas para compensar o

peso que o querosene tem sobre as asas. Assim, esse peso extra que a asa terá de ter será equivalente a 6% no peso total da asa (Yusaf et al., 2024).

Cecere et al. (2014) explicam que embora o custo operacional das aeronaves movidas a hidrogénio seja inferior ao das aeronaves operadas com combustível convencional, estas aeronaves precisam de tanques de combustível quatro vezes maiores do que as aeronaves movidas a querosene. Normalmente, o tanque de combustível das aeronaves situam-se dentro das asas, mas devido ao tamanho da aeronave, esses tanques de combustível têm de ser colocados na cabine.

Yusaf et al. (2024) sugerem que os tanques de hidrogénio para aeronaves de médio alcance podem ser colocadas acima do passageiro, enquanto os tanques de hidrogénio para aeronaves de longo alcance terão de ser armazenados na cabine, um na parte de trás e o outro na parte dianteira da cabine de passageiros, conforme sugerido na Figura 17.

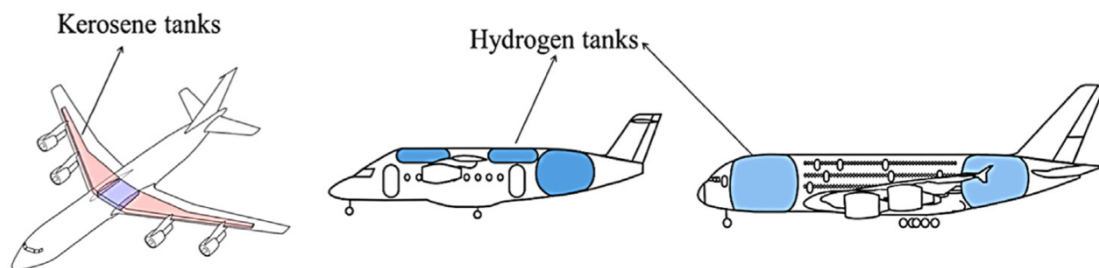


Figura 17 Localização dos tanques de combustível (querosene vs hidrogénio)

Fonte: (Yusaf et al., 2024)

Para que no futuro as companhias aéreas consigam operar com aeronaves movidas a hidrogénio, é necessário que compreendam que o atual *layout* geral das cabines das aeronaves tenha de sofrer alterações significativas. Este novo modelo de cabine obriga também a uma mudança do CG da aeronave a fim de suportar a pressão causada. As principais mudanças no layout da cabine são exemplificadas na Figura 18. A configuração dos tanques de hidrogénio é outra questão a ser levada em conta, pois estes têm um impacto significativo na energia consumida pelas aeronaves. Devido ao maior peso desses tipos de tanques, em aeronaves de curto e médio alcance onde os tanques se situam na parte superior da cabine, pode aumentar o uso de energia da aeronave em 6

e 19%. Em contrapartida, nas aeronaves de longo alcance, onde os tanques de hidrogénio são localizados nas extremidades da cabine, tendem a aumentar a eficiência energética em 12%. Como conclusão, entendeu-se que usar hidrogénio como combustível é mais rentável que seja em aeronaves de longo alcance (Yusaf et al., 2024).

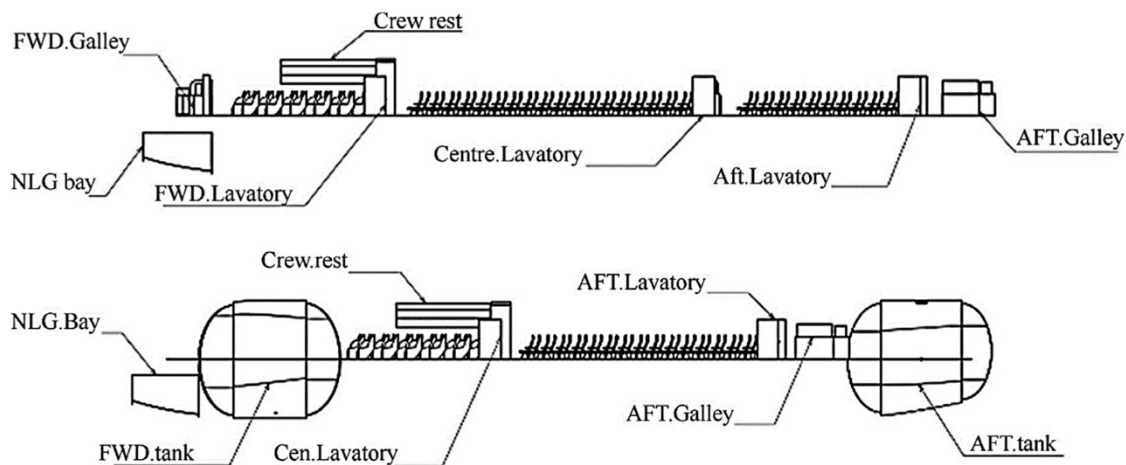


Figura 18 Novo layout de cabine para aeronaves movidas a hidrogénio

Fonte: (Yusaf et al., 2024)

Yusaf et al. (2024) explicam que como têm de haver mais tanques de hidrogénio do que os habituais nas aeronaves movidas a querosene, torna inevitável que a fuselagem da aeronave seja maior e mais pesada para suportar o peso extra aplicado por esses tanques. A massa da fuselagem nessas aeronaves é quase 6% maior do que em aeronaves movidas com combustível convencional.

O HySITE é um projeto desenvolvido pela Pratt & Whitney, que visa desenvolver um motor movido a hidrogénio de alta eficiência para aviação comercial. Este projeto é particularmente significativo porque visa eliminar as emissões de carbono, reduzindo assim as emissões de NOx durante o voo em aeronaves comerciais. A arquitetura do motor proposta é mostrada na Figura 19. O motor usa o hidrogénio frio para condensar o vapor de água do combustível queimado. Por sua vez, esse vapor de água é injetado no *inter-cooler* e na câmara de combustão após sofrer uma troca de calor com outros componentes. A injeção de vapor de água reduz a temperatura da chama, reduzindo assim as emissões de NOx. O LH2 é aquecido pelos gases de escape antes da injeção na câmara de combustão. No entanto, existem alguns desafios neste tipo de motor, como a complexidade e o custo do sistema, a estratégia de controlo e a oxidação do material. Da

mesma forma como acontece com o projeto *FlyZero*, não existe uma análise detalhada da arquitetura do motor ou dos resultados do estudo, disponível publicamente (Ebrahimi et al., 2024).

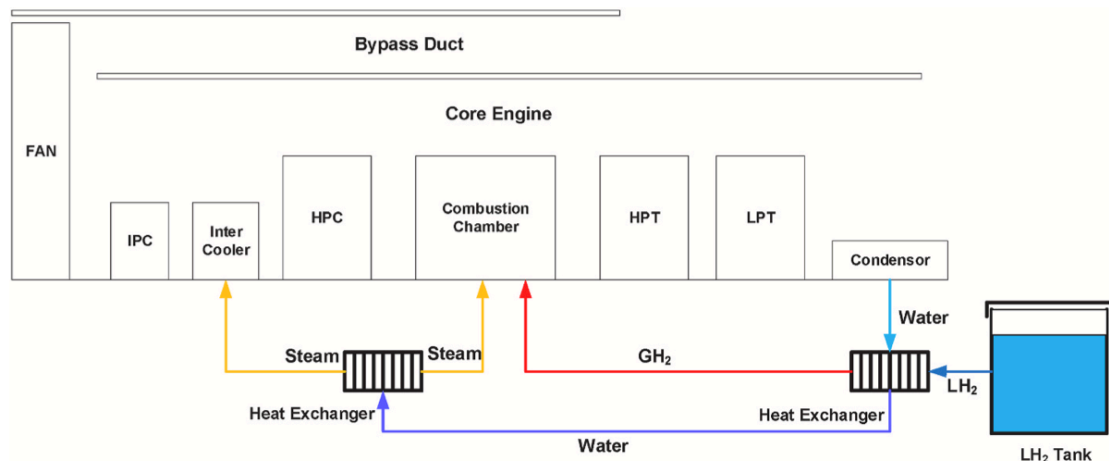


Figura 19 Conceito do motor HySIITE, desenvolvido pela Pratt & Whitney
Fonte: (Ebrahimi et al., 2024)

O armazenamento seguro de hidrogénio é considerado por muitos como um dos aspetos cruciais e mais importantes. O hidrogénio contém mais energia por peso do que qualquer outra substância. Como o hidrogénio é o elemento químico mais leve da tabela periódica, possui uma baixa densidade de energia por unidade de volume. O uso de hidrogénio exigirá dois tipos de sistemas de armazenamento de hidrogénio: um para o transporte e outro para infraestruturas fixas de armazenamento. Ambos têm diferentes requisitos e restrições. No entanto, esses requisitos de armazenamento de hidrogénio para aplicações de transporte são muito mais rigorosos do que aqueles para infraestruturas fixas (Edwards et al., 2007).

De acordo com os autores citados anteriormente, esses requisitos operacionais para um armazenamento ideal de hidrogénio para o seu transporte incluem:

- reversibilidade multiciclo de absorção/libertação de hidrogénio (não inferior a 500 ciclos);
- baixa pressão de funcionamento (menos de 4 bar);

- temperatura de funcionamento num intervalo entre -50°C a 150°C ;
- cinética rápida de absorção/libertação de hidrogénio;
- altas densidades gravimétricas e volumétricas de hidrogénio (maiores ou iguais a 9% em peso e maior ou igual a 70g de H_2 por litro de sistema de armazenamento);
- segurança sob condições de operação e aceitação pública;
- custo do sistema de armazenamento de hidrogénio inferior a £15/kg.

Para otimizar a densidade de energia, a temperatura para armazenar hidrogénio líquido em um tanque isolado deve ser muito baixo. No entanto, é necessário analisar qual será a melhor tecnologia de armazenamento do hidrogénio. Essas tecnologias são: compressão (em estado gasoso entre 50 e 150 bar, 25°C), liquefação (com o hidrogénio na forma líquida a -135°C , 1 bar), e químico (por exemplo, usando amónia e hidretos metálicos em condições ambientais). A Figura 20 ilustra os tanques apropriados para o armazenamento de hidrogénio e os seus componentes principais (Yusaf, 2022).

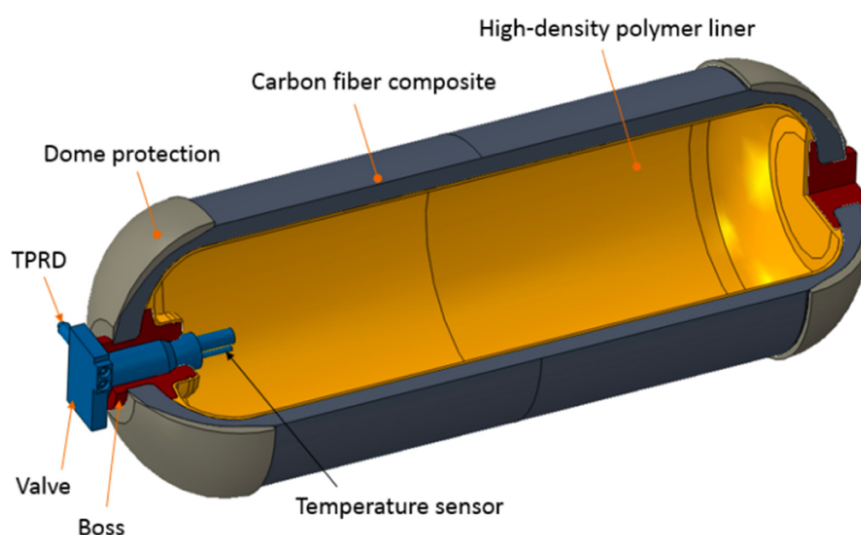


Figura 20 Componentes de um tanque de armazenamento de hidrogénio
Fonte: (Yusaf et al., 2022)

De acordo com Yusaf et al. (2022), o hidrogénio surge como uma alternativa promissora para a aviação sustentável, reduzindo significativamente as emissões de carbono e

contribuindo para a descarbonização do setor. Embora desafios como produção, armazenamento e infraestrutura persistam, os avanços tecnológicos e os investimentos estratégicos podem acelerar a sua adoção. Com políticas adequadas e inovação contínua, o hidrogénio poderá transformar o futuro da aviação, tornando-a mais eficiente e ecológica, alinhada com os objetivos globais de combate às alterações climáticas.

3 METODOLOGIA E DADOS

3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo analisar as estratégias de sustentabilidade adotadas pelos operadores aéreos Emirates e DHL para alcançar a meta de neutralidade carbónica até 2050, no âmbito do compromisso global do setor da aviação com o Net Zero. A análise incidirá sobre as medidas implementadas por ambas as companhias, incluindo a transição para combustíveis sustentáveis, a modernização da frota, a melhoria da eficiência operacional e a adoção de novas tecnologias que reduzam a pegada ambiental das suas operações. Além disso, este capítulo abordará a metodologia utilizada para responder aos objetivos propostos nesta investigação, detalhando os métodos selecionados para a recolha e análise da informação. A estrutura adotada permitirá uma compreensão aprofundada da viabilidade e eficácia das estratégias implementadas por estas companhias, bem como das dificuldades e oportunidades que surgem no caminho para um setor da aviação mais sustentável. Dessa forma, pretende-se contribuir para o debate académico e profissional sobre a descarbonização da aviação e a sua transição para um modelo ambientalmente responsável.

3.2 SUSTENTABILIDADE NA EMIRATES

A Emirates incorpora a sustentabilidade em todas as suas operações, garantindo um equilíbrio entre progresso económico e responsabilidade ambiental. A empresa adota medidas para reduzir o impacto ecológico, fomenta a inovação e apoia comunidades através da educação, do desporto e da cultura. Além de impulsionar o comércio global e criar milhares de oportunidades de emprego, investe ativamente na preservação da vida selvagem e dos ecossistemas. Com uma visão estratégica de longo prazo, alinhada com as ambições do Dubai e dos EAU, a Emirates aposta na modernização tecnológica, no desenvolvimento do capital humano e em parcerias estratégicas. O compromisso da empresa reflete-se na busca contínua pela excelência e pelo progresso sustentável. Segundo, o Sheikh Ahmed bin Saeed Al Maktoum, **CEO** da Emirates, “o Grupo Emirates continuará a investir em tecnologias, pessoas e parcerias, para entregar os melhores produtos e serviços, melhorar o desempenho, e proporcionar um impacto positivo no

nosso planeta.” Os três pilares da estratégia de sustentabilidade da Emirates são: redução de emissões, consumir com responsabilidade e preservar a vida selvagem e habitats (Emirates, 2024).

Ao analisar o Relatório Anual de 2023-2024 da Emirates, podemos obter informações de como a companhia tem reunido esforços para conseguir corresponder a esses três pilares da estratégia de sustentabilidade da companhia.

3.2.1 REDUÇÃO DE EMISSÕES

Os pilotos da Emirates implementam Green SOPs como resultado de uma abordagem de conscientização, onde se procura reduzir o consumo desnecessário de combustível e emissões sempre que possível, mantendo os níveis de segurança ao mais alto nível. Essa e outras iniciativas ajudaram a reduzir o consumo de combustível em mais de 48.000 toneladas e emissões de carbono em mais de 151.000 toneladas. Sempre que possível, a Emirates procura associar-se com empresas que usem fontes renováveis de energia. No caso de mercados como o Reino Unido e a Irlanda, há a possibilidade de adquirir equipamentos movidos exclusivamente a energia solar e energia eólica. Nas instalações dnata da companhia, existe a monitorização do consumo de combustível na frota de equipamentos de apoio terrestre (GSE) usando um sistema de VTM de forma a garantir que não existem deslocações desnecessárias desses equipamentos, evitando assim queima de combustível (Emirates, 2024).

Outro passo importante na estratégia de redução de emissões da Emirates, passa por eletrificar os equipamentos de apoio terrestre (GSE). Em paralelo, a Emirates tem sempre se esforçado para ter na sua frota as aeronaves mais recentes, operando assim de forma moderna e com baixo consumo de combustível (as aquisições mais recentes, nomeadamente o Airbus A350 e o Boeing 777X, fornecerão até 22% de maior eficiência de combustível). A frota de equipamentos dnata compreende uma estratégia de eliminar gradualmente o diesel nos motores operados e mudar para motores híbridos, elétricos ou hidrogénio, quando viável. Em muitos países onde a Emirates opera, já foi possível converter grande parte dos GSE para equipamentos elétricos (65% nos Países Baixos, 44% em Itália, 40% no Reino Unido e 39% na Suíça). No caso das operações nos Países

Baixos, a dnata tem trabalhado com o aeroporto de Schiphol para testar 'taxibots' (Emirates, 2024).

Outro passo importante na estratégia de descarbonização da Emirates, passa por investir nos combustíveis sustentáveis para a aviação (SAF). Em 2024, a Emirates anunciou um acordo com a Shell para permitir um fornecimento exclusivo de SAF para as aeronaves da companhia no aeroporto internacional do Dubai. Este uso de combustíveis sustentáveis contribuiu para reduzir as emissões em cerca de 4.700 toneladas de CO₂. No dia 30 de janeiro de 2023, a Emirates realizou um voo histórico num Boeing 777-300ER, utilizando 100% Combustível de Aviação Sustentável num dos motores. Esse voo marcou um passo significativo no compromisso dos Emirados Árabes Unidos com a sustentabilidade, alinhando-se à designação de 2023 como o "Ano da Sustentabilidade". Sendo a primeira companhia aérea da região MENA a operar um voo com 100% SAF, a Emirates contribui para a redução das emissões de CO₂ e para a certificação futura deste combustível como substituto do querosene tradicional. Atualmente, o SAF só é aprovado em misturas de até 50%, e a Emirates, em parceria com GE Aerospace, Boeing, Honeywell, Neste e Virent, desenvolveu um SAF especial, garantindo características semelhantes ao combustível convencional. Foram misturados 18 toneladas de SAF, combinando HEFA-SPK da Neste e HDO-SAK da Virent. Este teste demonstrou a segurança e viabilidade do SAF puro, fornecendo dados essenciais para futuras certificações. A Emirates pretende impulsionar a adoção deste combustível, tornando-o mais acessível e financeiramente viável. Desde 2017, a companhia tem vindo a utilizar SAF em diversas operações, incluindo a receção do seu primeiro A380 abastecido com este combustível em 2020. Além disso, colabora com organizações como a IATA para otimizar rotas de voo e reduzir o consumo desnecessário de combustível. Através destas iniciativas, a Emirates reforça o seu compromisso com a eficiência energética e a inovação, posicionando-se como um líder na transição para uma aviação mais sustentável (Emirates, 2023).

A Emirates tem estado também a investir em energia solar e outros sistemas para gerar eletricidade limpa nas principais instalações da companhia, como o *Emirates Engine Maintenance Centre*, *Emirates Flight Catering*, *the Emirates Sevens Stadium* e o novo centro de treinamento de pilotos. Essas instalações geram cerca de 9.000 MWh de eletricidade renovável anualmente, economizando cerca de 3.500 toneladas de emissões

de CO₂. A dnata instalou sistemas de energia solar nas suas instalações operacionais em Singapura, Reino Unido, Paquistão, Filipinas e Austrália. Assim, torna-se possível produzir aproximadamente 4.300 MWh de eletricidade renovável anualmente, economizando mais de 2.000 toneladas de emissões de CO₂ (Emirates, 2024).

3.2.2 CONSUMIR COM RESPONSABILIDADE

A Emirates dedica-se ao consumo responsável de recursos, demonstrado através de parcerias com fornecedores que compartilham os mesmos princípios éticos de práticas sustentáveis que a Emirates.

A companhia tenta minimizar ativamente os resíduos em todas as operações, esforçando-se para estabelecer um padrão para a gestão ambiental na indústria da aviação. Para isso, foi implementado um Código de Conduta do Fornecedor aprimorado, em 2022, o que garante que os fornecedores se alinhem com a companhia no fornecimento responsável de recursos sem comprometer a qualidade dos mesmos. Em 2023-24, começou a concentrar estratégias com os fornecedores para obter mais produtos de serviço de bordo sustentáveis (Emirates, 2024).

No intuito de ajudar a reduzir resíduos gerados nas cabines e do catering nos voos para o Dubai, a tripulação de cabine separa o plástico usado e garrafas de vidro a bordo, que são então recuperados ao serem reciclados pela Emirates. Em junho de 2023, foi lançada uma iniciativa de reciclagem, que consiste num ciclo através da qual milhões de artigos como itens de plástico, tigelas e outros são reaproveitados e transformados em novos, prontos para uso (Figura 21) (Emirates, 2024).

A Emirates possui uma variedade de *amenity kits* feitos em papel *kraft* lavável e contendo produtos de viagem feitos de materiais alternativos. Sacos de brinquedos gratuitos, *amenity kits* para bebés e peluches que são feitos de garrafas de plástico recicladas e outros materiais alternativos. Os novos artigos de *lounge wear* a bordo, lançados em janeiro de 2024 para os passageiros da Classe Executiva, são feitos de fibras certificadas pelo rótulo ecológico da UE de fontes botânicas. Em novembro de 2023, a Emirates lançou uma coleção cápsula exclusiva de malas, bolsas e acessórios – tudo fabricado com materiais reciclados de aeronaves que sofreram de *retrofit* (Emirates, 2024).



Figura 21 Iniciativa de reciclagem da Emirates de recursos usados em voo
Fonte: (Emirates, 2024)

3.2.3 PRESERVAR A VIDA SELVAGEM E HABITATS

Com a circulação de pessoas através de viagens para testemunhar as maravilhas da natureza, a indústria da aviação tem o dever de minimizar o seu impacto ambiental para proteger esses preciosos habitats. Esta é também uma responsabilidade da Emirates, ao implementar práticas sustentáveis e defender esforços de conservação. Por mais de 20 anos, a Emirates tem ajudado a apoiar um desenvolvimento sustentável no ecossistema do DDCR. Esse é o maior parque nacional do Dubai, compreendendo 5% do emirado e é dedicado a proteger a fauna e flora indígenas. A Emirates administra o DDCR desde a criação da reserva em 2002. Na dnata Travel, os funcionários são incentivados a cooperar nos esforços de conservação durante todo o ano para proteger habitats críticos e a biodiversidade. Estes esforços incluem a plantação de árvores nos EAU, implementar zonas polinizadoras de abelhas na Itália e Irlanda e a manutenção do Walled Orchard, no Reino Unido – um jardim de rosas aberto para o público (Emirates, 2024).

A Emirates tem uma política de tolerância zero sobre o transporte de espécies proibidas, troféus de caça ou quaisquer produtos associados com atividades ilegais de vida

selvagem. Ao longo dos anos, a companhia tem continuamente demonstrado a sua determinação em apoiar os protocolos da CITES em colaboração com outras entidades, como o Ministério da Mudança do Clima e Meio Ambiente dos Emirados Árabes Unidos. De acordo com esse princípio, a Emirates introduziu um treino de consciencialização abrangente sobre a vida selvagem para os funcionários dos departamentos de carga e passageiros, o que inclui tripulantes de cabine, *Emirates Airport Services* e *Emirates Grupo Security*. Com este novo treino, é possível capacitar os funcionários a identificar, identificar sinais de tráfico de animais selvagens tanto nas operações de passageiros como na carga (Emirates, 2024).

3.3 SUSTENTABILIDADE NA DHL

A DHL é uma das maiores companhias aéreas de logística do mundo, operando em mais de 220 países e territórios. Desde a sua fundação, evoluiu de um serviço nacional para uma gigante global no setor da logística, oferecendo soluções de transporte expresso, e-commerce e distribuição de encomendas (DHL, 2023).

No que se refere à sustentabilidade, a DHL estabeleceu uma estratégia ambiciosa integrada no seu plano estratégico para 2025, com metas claras alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. A empresa compromete-se a reduzir as suas emissões de gases com efeito de estufa para menos de 29 milhões de toneladas de CO₂ equivalente até 2030, com um objetivo de neutralidade carbónica até 2050. Para atingir estas metas, a DHL investe na modernização da sua frota, na utilização de combustíveis sustentáveis e na compensação de emissões através de iniciativas de *offsetting*. Além disso, desenvolveu um *roadmap* que abrange não apenas a proteção ambiental, mas também a responsabilidade social e a governança corporativa, assegurando um impacto positivo a longo prazo (DHL, 2023).

O principal impacto ambiental das atividades comerciais da DHL é causado pelos gases de efeito estufa (GHG) relacionados à logística, que contribuem para as alterações climáticas atuais. Dentro da estrutura do *roadmap* criado pelas companhias, foram definidas medidas e metas ambiciosas para minimizar esses efeitos, concretizar

oportunidades e evitar riscos. Nesse sentido, a DHL criou alvos a médio e longo prazo para a concretização dessas metas de descarbonização (DHL, 2023).

Como meta a médio prazo, a DHL estabeleceu como meta reduzir as suas emissões de gases de efeito estufa para menos de 29 milhões de toneladas de CO₂ até o ano 2030. Esta meta foi desenvolvida com base nos requisitos da iniciativa SBTi, que apoia os esforços globais para limitar o aquecimento global. O SBTi verificou as seguintes submetas a este respeito e avaliou-os como alinhados com a limitação do aquecimento global a 1,5C: a DHL comprometeu-se a reduzir as suas emissões líquidas diretas de gases de efeito estufa provenientes da utilização de combustíveis e as emissões indiretas provenientes da compra de combustíveis, reduzir o uso de energia em 42% até o ano 2030 (*scope 1 e 2*). As emissões relacionadas à logística de atividades relacionadas a combustíveis e energia, o transporte e distribuição e as viagens de negócios deverão ser reduzidos em 25% até 2030 (*scope 3*) (DHL, 2023).

A DHL organiza as suas emissões de gases de efeito de estufa em três *scopes* diferentes:

- **Scope 1** refere-se às emissões diretas de gases com efeito de estufa provenientes de fontes que são controladas ou possuídas pela própria empresa, como o consumo de combustível nos seus veículos e instalações.
- **Scope 2** engloba as emissões indiretas associadas à compra de eletricidade, calor ou vapor utilizados pela empresa. Estas emissões ocorrem fora das instalações da DHL, mas são contabilizadas, pois resultam do consumo energético da empresa.
- **Scope 3** inclui todas as outras emissões indiretas ao longo da cadeia de valor, tais como transporte e distribuição *upstream*, atividades relacionadas com combustíveis e energia, e viagens de negócios. Estas emissões são frequentemente mais difíceis de controlar, pois envolvem fornecedores e parceiros externos.

A utilização de combustíveis sustentáveis é um foco significativo de proteção climática das atividades da DHL. Essas mudanças oferecem à companhia a oportunidade de implementar a proteção climática diretamente no setor dos transportes e na nossa cadeia de abastecimento de uma forma direcionada. Como parte disto, os combustíveis fósseis

são substituídos pela utilização direta de combustíveis sustentáveis certificados. A longo prazo, a DHL ambiciona reduzir as emissões de gases de efeito estufa dos seus serviços de logística para zero emissões até 2050. Isso significa que utilizarão medidas ativas de redução para reduzir essas emissões até um mínimo inevitável (DHL, 2023).

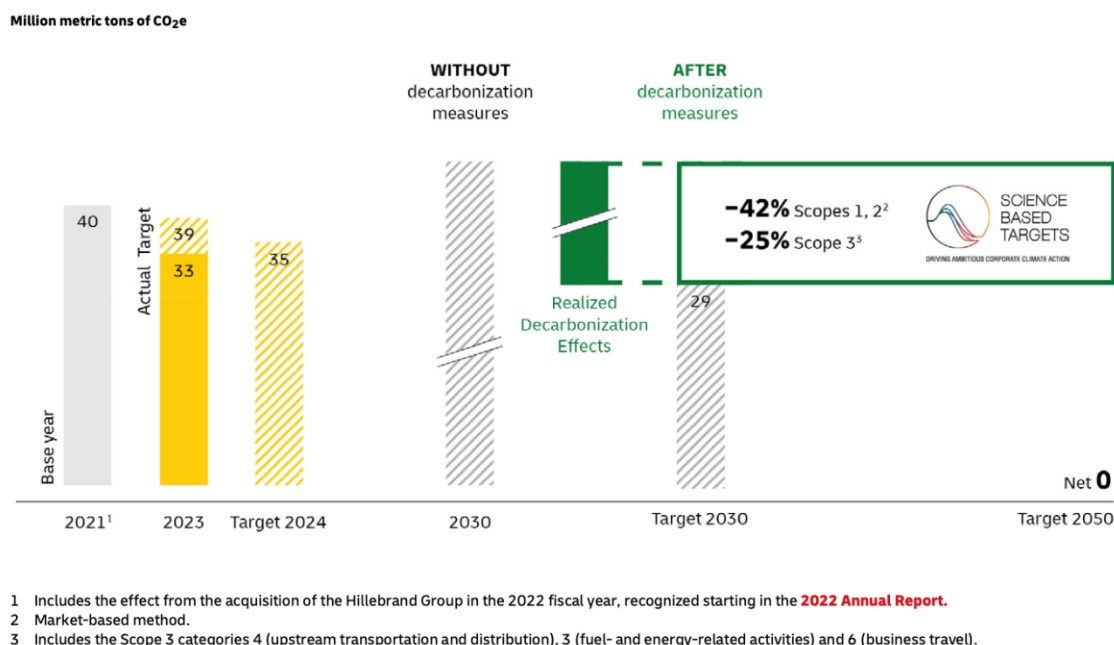


Figura 22 Metas de descarbonização
Fonte: (DHL, 2023)

A Figura 22 ilustra a estratégia de descarbonização da DHL, mostrando a evolução das suas emissões de CO₂ e os objetivos futuros. Em 2021, a empresa registou emissões de 40 milhões de toneladas, reduzindo para 33 milhões em 2023, superando a meta inicial de 39 milhões. Para 2024, o objetivo é reduzir para 35 milhões, enquanto a meta para 2030 é de 29 milhões de toneladas, considerando os efeitos das medidas de descarbonização. Como referido anteriormente, pela figura é possível perceber que a DHL se compromete a reduzir as emissões do *scope* 1 e 2 em 42% e as do *scope* 3 em 25%, adotando práticas sustentáveis, como a modernização da frota e o uso de combustíveis alternativos.

Para alcançar estes objetivos até 2030, a DHL planeia gastar até 7 mil milhões de euros adicionais para expandir o uso de combustíveis sustentáveis e tecnologias na frota e edifícios. Além disso, a DHL trabalha como parte de uma ampla gama de iniciativas para

desenvolver combustíveis sustentáveis e tecnologias, a fim de reduzir o consumo de combustível e diminuir as emissões de gases de efeito de estufa (DHL, 2023).

Há a necessidade de haver um foco nas medidas da DHL nos tipos de transporte que utilizam mais combustível e geram mais emissões, nomeadamente aéreo, marítimo e rodoviário, aumentando também ainda mais a eletrificação da frota de recolha e entrega de correio. A DHL também investe em tecnologias para que os seus próprios edifícios sejam neutros em termos climáticos. Há a ambição de que a parcela dos combustíveis sustentáveis usados seja de 30% no transporte aéreo e marítimo, bem como em transporte terrestre, até 2030. Nas recolhas e entregas, 60% dos veículos utilizados serão elétricos. Nesse sentido, houve um aumento da participação de veículos elétricos utilizados para 37,6%; passando de 27.800 veículos elétricos, em 2022, para 35.200, em 2023. Portanto, houve progressos significativos no sentido de alcançar o objetivo até 2030 (DHL, 2023).

A DHL está a impulsionar a descarbonização através do portfólio de produtos *“GoGreen Plus”*, permitindo que os clientes optem por soluções de transporte sustentáveis ou utilizem combustíveis alternativos. Atualmente, cerca de dois terços dos produtos clássicos da empresa já possuem alternativas sustentáveis. Além disso, a empresa lançou o *“DHL GoGreen Dashboard”*, uma plataforma digital que permite aos clientes consolidar e analisar as suas emissões de gases com efeito de estufa em diferentes modos de transporte, proporcionando diversas opções de visualização detalhada dos dados. Como complemento ao *“GoGreen Plus”*, a DHL continua a oferecer produtos de compensação de carbono para os clientes mitigarem as suas emissões. No entanto, de acordo com o *“GHG Protocol”*, estas compensações não são contabilizadas como reduções diretas de emissões na pegada de carbono da empresa (DHL, 2023).

A DHL Express conseguiu celebrar novos contratos de entrega de combustíveis sustentáveis para aeronaves. Além disso, a modernização das aeronaves foi dada continuidade para utilização em rotas intercontinentais e regionais. Além disso, o foco está também na expansão de armazéns neutros em carbono e no transporte sustentável. Uma parte das estações de abastecimento na Grã-Bretanha foram convertidas de diesel para HVO (óleo vegetal hidrotratado). Na Irlanda, a produção de biogás está a ser expandido por

parceiros para permitir o abastecimento de camiões com gás produzido de forma sustentável. Essa medida de utilizar camiões movidos a gás natural comprimido produzido de forma sustentável – GNC, para percursos de transporte mais longos, foi identificado como uma solução viável (DHL, 2023).

Tabela 3 Despesas adicionais da DHL com a descarbonização
Fonte: (DHL, 2023)

€m	2022	2023	+/-%
Sustainable fuels and technologies	284	442	55.6
of which sustainable fuel	66	135	104.5
of which aviation fuel	53	113	113.2
electrification of the fleet	179	244	36.3
buildings	24	38	58.3
additional measures ¹	15	25	66.7

1 Shifting shipments to rail, biogas trucks, including supply infrastructure, electricity from renewable sources.

A partir da Tabela 3, é possível verificar que a DHL aumentou em 55,6% os gastos com descarbonização, atingindo 442 milhões de euros em 2023. O maior crescimento foi em combustíveis sustentáveis (+104,5%), especialmente para aviação (+113,2%). Também investiu mais na eletrificação da frota (+36,3%), edifícios (+58,3%) e outras medidas, como biogás e eletricidade renovável (+66,7%).

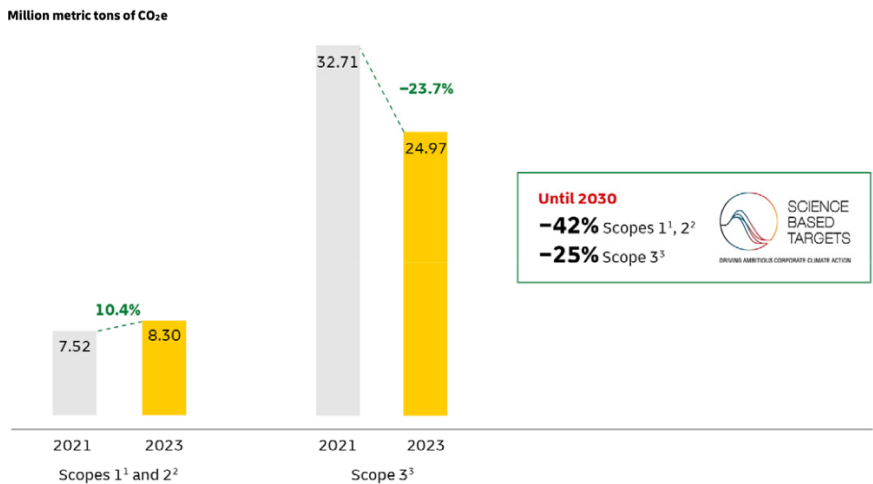


Figura 23 Eficácia das medidas de sustentabilidade nas atividades da DHL
Fonte: DHL, 2023

A Figura 23 apresenta as emissões de CO₂ da DHL nos *scopes* 1, 2 e 3 entre 2021 e 2023. As emissões dos *scopes* 1 e 2 aumentaram 10,4%, passando de 7,52 para 8,30 milhões de toneladas. Já as emissões do *scope* 3 diminuíram 23,7%, reduzindo-se de 32,71 para 24,97 milhões de toneladas.

3.4 ANÁLISE METODOLÓGICA DE OBJETIVOS PROPOSTOS

No presente capítulo, serão apresentados os métodos metodológicos que serão utilizados para responder a cada um dos objetivos propostos neste trabalho de fim de mestrado. Serão descritas as abordagens adotadas para a recolha e análise da informação, bem como a sua adequação ao estudo das estratégias de sustentabilidade implementadas pela Emirates e pela DHL no contexto da meta Net Zero 2050. A definição dos métodos a aplicar visa garantir uma investigação rigorosa e fundamentada, permitindo obter uma compreensão aprofundada dos desafios e soluções no setor da aviação.

3.4.1 DESCARBONIZAÇÃO NO TRANSPORTE AÉREO: REGULAMENTAÇÃO E COMPROMISSOS GLOBAIS

Para analisar o contexto global das metas de descarbonização no transporte aéreo, será utilizada como principal ferramenta metodológica o programa de avaliação semafórico. Esta metodologia permite classificar visualmente o grau de alinhamento das empresas com os compromissos internacionais.

A análise semáforo é uma metodologia simples e visual que serve para avaliar e comunicar o desempenho de diferentes aspetos, ou indicadores de um tema em estudo (por exemplo, KPIs e KPAs). Esta análise funciona da seguinte forma: primeiro, definem-se indicadores claros que permitam medir o que se pretende analisar; de seguida, para cada indicador, é atribuída uma cor de acordo com o desempenho observado: vermelho indica um resultado negativo ou fora do esperado, que requer atenção imediata; amarelo aponta para uma situação de alerta, que precisa ser acompanhada; e verde representa um bom desempenho, dentro das metas estabelecidas. Esse sistema facilita a identificação rápida de pontos críticos e boas práticas, ajudando na tomada de decisões e na comunicação dos resultados (Baltazar, 2022). Numa fase final, esta avaliação semafórica poderá adotar o aspeto da Figura 24.

Este programa metodológico será aplicado às empresas em estudo, permitindo uma leitura sintética, comparável e acessível sobre o seu posicionamento face às metas climáticas até 2050. Esta ferramenta traduz, de forma visual e objetiva, dados qualitativos e quantitativos obtidos em documentos públicos e relatórios de sustentabilidade de fontes como a ICAO e IATA, bem como de relatórios das empresas em questão. Este

cruzamento permitirá contextualizar mais concretamente os resultados da análise semafórica num panorama mais amplo da regulamentação internacional.

KPA	KPA Score	Feedback	
Safety and Security	73,47	This is an excellent result. Although, this result is in the higher level of performance, especially due to high scores in almost every KPI, only Bird Strikes KPI needed some intervention to improve KPA score.	
Core	87,19	This is an excellent result. Although this result is in the higher level of performance, especially due to high scores in almost every KPI, Freight and mail loaded/unloaded needed some improve KPA score final.	
Productivity / Cost Effectiveness	36,61	This is a fair result. However, this result is near the lower end of the middle level of performance limit, especially due to low scores in Total Cost per Movement, Operating Cost per Movement, Aircraft Movements per Gate, Total Cost per WLU and Operating Cost per WLU KPIs that needed urgent intervention to improve KPA score.	
Service Quality	65,64	This is a fair result. However, this result is near the higher end of the middle level of performance limit, especially due to low scores in Gate Departure Delay, Security Clearing Time, and Border Control Clearing Time KPIs that needed urgent intervention to improve KPA score.	
Financial / Commercial	15,81	This result is poor, it is at Lower level of performance - not a good result. Very low scores indicates that zero, or near zero, scores in almost every KPIs that needed urgent intervention to improve KPA score, except for Non-Aeronautical Operating Revenue as Percentage of Total.	
Environmental	70,29	This is an excellent result. However, this result is just above the higher level of low-performance limit, mainly due to high scores in Carbon Footprint (TONS/PAX), Renewable Energy Purchased by the Airport (%), and Water Consumption per Passenger KPI only Waste Recycling, Waste Reduction (%), Utilities / Energy Usage per Square Meter of Terminal KPIs, needed some intervention to improve KPA score.	

Figura 24 Aspeto final de uma análise semáforo
Fonte: (Baltazar, 2022)

3.4.2 DESAFIOS DAS EMPRESAS: CUSTOS, TECNOLOGIA E REGULAÇÃO

Para identificar os principais obstáculos enfrentados pela Emirates e pela DHL no cumprimento das metas de sustentabilidade, será realizada uma análise documental e setorial que permitirá compreender os desafios associados à descarbonização do setor da aviação. A investigação incidirá sobre relatórios das empresas, bem como possíveis publicações académicas, de modo a identificar barreiras como os elevados custos da transição energética, as limitações tecnológicas na adoção de combustíveis sustentáveis e as exigências impostas pelos regulamentos internacionais. Após a análise desta investigação, será realizada uma análise crítica da mesma.

3.4.3 IMPACTO DAS ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS RUMO ÀS EMISSÕES ZERO EM 2050

Para avaliar o impacto das estratégias de sustentabilidade da Emirates e da DHL no progresso para a meta de emissões líquidas zero até 2050, será utilizada uma abordagem baseada na análise de indicadores de desempenho ambiental e no estudo das principais forças e desafios enfrentados por ambas as empresas. A investigação recorrerá a relatórios de sustentabilidade, dados operacionais e metas estabelecidas por cada

companhia, permitindo quantificar os avanços alcançados e identificar eventuais lacunas nas suas estratégias. Além disso, será realizada uma análise SWOT (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças) para examinar os fatores internos e externos que influenciam a eficácia das iniciativas adotadas (Figura 25). Uma análise SWOT avalia os pontos fortes e fracos internos e as oportunidades e ameaças externas no ambiente de uma organização. A análise interna é usada para identificar recursos, capacidades, competências essenciais e vantagens competitivas inerentes à organização.

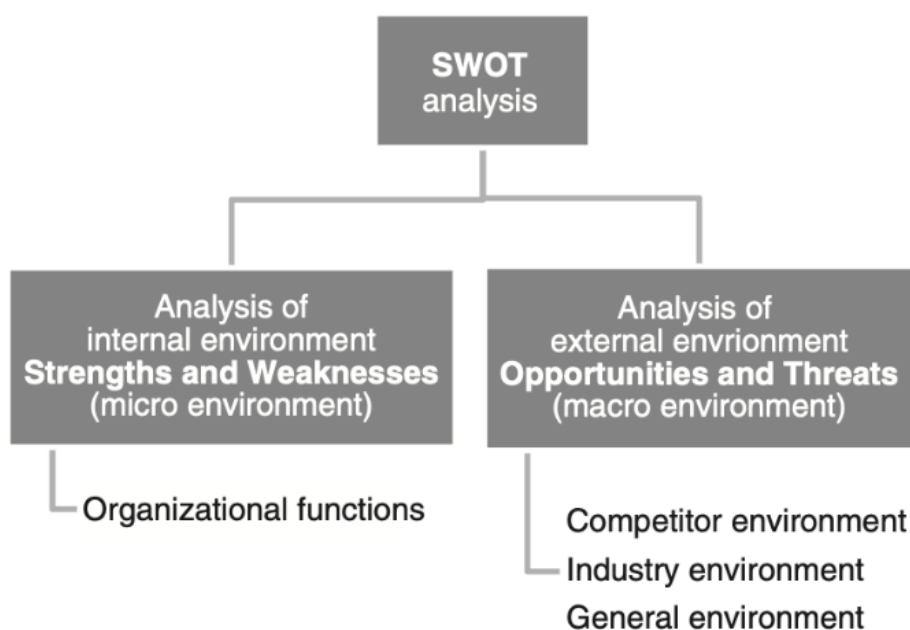


Figura 25 Análise SWOT (análise interna e externa)
Fonte: (Sammur-Bonnici, 2015)

A análise externa identifica oportunidades e ameaças de mercado, observando os recursos dos concorrentes, o ambiente do setor e o ambiente geral (Figura 26). O objetivo de uma análise SWOT é que as empresas consigam formular uma estratégia (Sammur-Bonnici, 2015).

A análise interna da organização é fundamental para identificar a fonte da vantagem competitiva. Ela identifica os recursos que precisam ser desenvolvidos e sustentados para se manter competitiva. Por definição, a vantagem competitiva deve ser exclusiva da empresa para gerar lucros acima da média do setor. O processo de gestão estratégica começa com uma avaliação profunda da organização, observando seus recursos e

capacidades internos, sendo estes a fonte de suas competências essenciais, que por sua vez criam uma vantagem competitiva.

	Weaknesses (W)	Strengths (S)
Opportunities (O)	Examines strategies that take advantage of opportunities to avoid weaknesses (WO)	Examines strategies that use strengths to make use of opportunities (SO)
Threats (T)	Examines strategies that minimize the effect of weaknesses and overcome or avoid threats (WT)	Examines strategies that use strengths to overcome or avoid threats (ST)

Figura 26 Análise SWOT (Forças, Fraquezas, Ameaças e Oportunidades)
Fonte: (Sammut-Bonnici, 2015)

Complementarmente, será aplicada a análise PESTEL (Política, Económica, Sociocultural, Tecnológica, Ecológica e Legal), proporcionando uma visão abrangente do ambiente externo que molda as estratégias de sustentabilidade, incluindo regulamentações, avanços tecnológicos e expectativas do mercado.

A Análise PESTEL é uma ferramenta utilizada para monitorar o ambiente de negócios, decidir o modo de entrada, tirar conclusões, etc. Os fatores políticos incluem estabilidade política, estrutura governamental, nível de corrupção, política tributária e assim por diante. Além do ambiente político, o ambiente económico deverá considerar taxas de juros e câmbio, inflação, tendências de desemprego e propensão a gastar. Os profissionais de marketing apoiam ser necessário entender os fatores sociais, como distribuição de renda, envelhecimento da população, renda média disponível, religião e crenças, classes sociais, taxas de imigração e emigração e atitude em relação ao trabalho,

poupança, investimento, aposentadoria e lazer. Por outro lado, o desenvolvimento de novos produtos e o ciclo de vida da tecnologia, também precisam ser analisados sob a perspectiva de fatores tecnológicos. Em seguida, os fatores ambientais, incluindo aquecimento global, poluição, atitudes em relação a produtos verdes, apoio a energias renováveis e atividades de reciclagem, se tornarão fatores importantes, pois afetarão setores como agricultura, turismo e seguros. Por último, mas não menos importante, os fatores legais incluem legislação de saúde e segurança, concorrência, emprego, consumidor, e leis de direitos autorais e padrões que também têm impacto significativo nas empresas, especialmente para alcançar e permanecer competitivas (Yusop, 2018).

A combinação destas abordagens permitirá uma avaliação crítica e fundamentada sobre o impacto real das iniciativas implementadas, contribuindo para uma compreensão mais clara dos desafios e oportunidades no caminho para a neutralidade carbônica no setor da aviação.

3.4.4 BOAS PRÁTICAS PARA UM TRANSPORTE DE CARGA SUSTENTÁVEL

Para delinear as boas práticas baseadas nas lições aprendidas com as estratégias de sustentabilidade da Emirates e da DHL, juntamente com a análise da avaliação semafórica elaborada anteriormente, será realizada uma análise comparativa das iniciativas mais eficazes adotadas por estas empresas no caminho para a neutralidade carbônica. A investigação basear-se-á na revisão de relatórios das empresas que evidenciem medidas bem-sucedidas na redução de emissões e na melhoria da eficiência operacional. A partir desta avaliação, será possível propor diretrizes e recomendações que possam servir de referência para outras empresas que buscam alinhar as suas operações com os objetivos do Net Zero 2050.

3.5 MODELO DE AVALIAÇÃO

Para este TFM, será seguida a formulação da Figura 27.

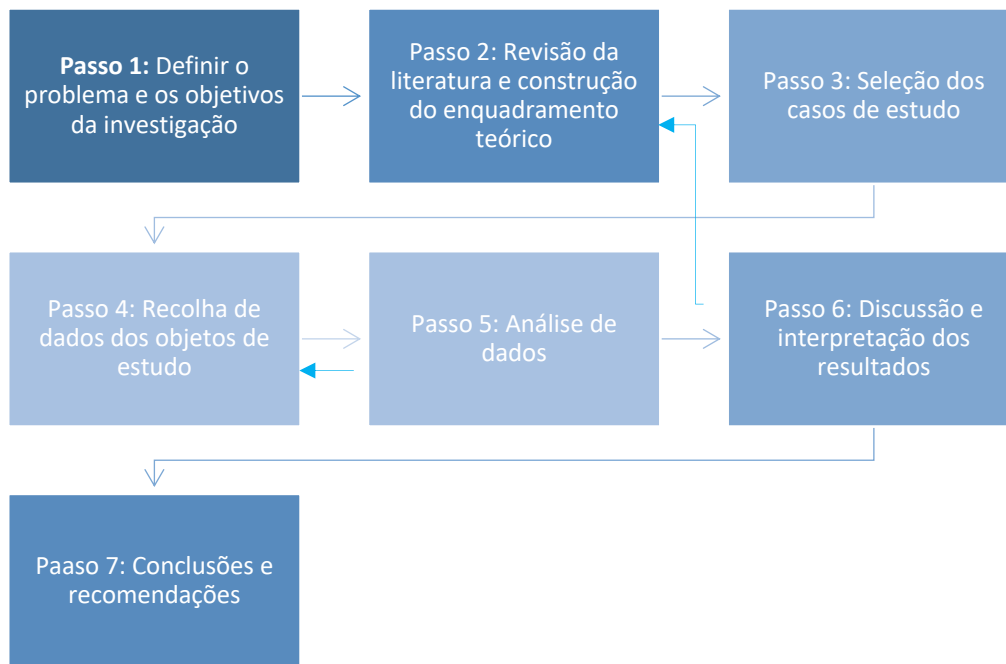


Figura 27 Fluxograma do TFM
Fonte: Elaboração própria

Passo 1: Nesta etapa inicial, delimitou-se o problema a ser investigado – neste caso, os desafios enfrentados pelos operadores aéreos para o cumprimento da meta NET ZERO 2050. Foi aqui que se formulou a pergunta de investigação e os objetivos, que irão guiar todo o estudo.

Passo 2: Consiste na análise crítica da literatura existente sobre o tema. Permite identificar lacunas sobre o tema, teorias relevantes, conceitos-chave (como sustentabilidade, SAF, tecnologias limpas) e linhas de pensamento já consolidadas. Esta revisão fornece a base teórica e justifica a pertinência do estudo.

Passo 3: Aqui definem-se os objetos de estudo. A escolha da Emirates (como transportadora aérea de passageiros) e da DHL (como transportadora aérea de carga) baseia-se na sua representatividade e no fácil acesso a dados consistentes, publicados pelas mesmas.

Passo 4: Trata-se da recolha sistemática de dados, maioritariamente secundários, relativamente aos objetos de estudo, a partir de fontes fiáveis: relatórios de sustentabilidade, publicações académicas e outros documentos.

Passo 5: Os dados recolhidos são organizados e interpretados por meio de ferramentas analíticas qualitativas, como a análise SWOT, PESTEL e avaliação semafórica. Esta etapa transforma dados brutos em informação estruturada para tomada de decisão e reflexão crítica. Se se compreender que os dados recolhidos não terão sido suficientes, será necessário voltar ao passo 4.

Passo 6: Nesta etapa cruzam-se os resultados da análise com a literatura existente e com as hipóteses formuladas no início do estudo. É nesta etapa onde se começa a chegar às primeiras conclusões do estudo.

Passo 7: Esta é a última etapa do ciclo de investigação, onde se resume as principais conclusões, destaca os contributos do estudo, reconhece limitações e propõe investigações futuras. É onde o trabalho ganha valor aplicável e se transforma em conhecimento útil para outros investigadores e profissionais do setor.

3.6 CONCLUSÃO

A abordagem metodológica adotada neste estudo distingue-se pela integração de múltiplas ferramentas qualitativas, como a análise SWOT, a análise PESTEL e o modelo de avaliação semafórica, aplicadas à análise dos casos em estudos (Emirates e DHL). Esta combinação permite uma leitura sistemática e comparativa do grau de sustentabilidade de cada operador em questão.

O que torna esta análise diferente é que não é usada apenas um tipo de análise, como referido anteriormente, conseguindo assim ter uma visão mais completa da situação. É possível assim perceber como diferentes fatores se relacionam entre si, tanto dentro das empresas como no ambiente que as rodeia. Este tipo de abordagem ainda não é muito comum quando se fala de sustentabilidade na aviação, por isso pode ajudar outros estudos a seguir um caminho semelhante no futuro.

Do ponto de vista prático, a avaliação proposta oferece às companhias aéreas uma ferramenta de diagnóstico estratégico, útil para identificar pontos fortes, fragilidades e áreas prioritárias de maior intervenção. Ao traduzir dados complexos em indicadores visuais e operacionais, este modelo pode suportar decisões mais informadas e alinhadas

com os objetivos do NET ZERO 2050, contribuindo para uma transição sustentável e baseada em evidência.

4 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESCARBONIZAÇÃO NO TRANSPORTE AÉREO: REGULAMENTAÇÃO E COMPROMISSOS GLOBAIS

Para avaliar com maior profundidade o grau de alinhamento da Emirates e da DHL relativamente ao esforço das mesmas de atingir as metas e exigências globais de descarbonização, será aplicada uma análise de avaliação semafórica. Este modelo foi ajustado ao contexto da aviação comercial e estruturado a partir dos compromissos internacionais definidos pela ICAO, IATA e outras entidades reguladoras, assim como pelos relatórios anuais públicos de ambas as companhias. O ano de referência desta avaliação é 2024.

A escolha desta abordagem justifica-se pela sua capacidade de simplificar a informação que está a ser estudada, relacionando as companhias com indicadores escolhidos. Como o próprio nome da avaliação sugere, são usadas três cores para a compreensão da informação: o vermelho (●) representa um desempenho insatisfatório; o amarelo (●) indica progresso parcial ou recente; e o verde (●) sinaliza conformidade plena com os objetivos estabelecidos. A tabela a seguir apresenta uma descrição resumida dos sete indicadores utilizados nesta avaliação semafórica (Tabela 4). Cada indicador representa uma dimensão crítica da sustentabilidade e que se tornam de extrema importância para o estudo em questão.

Tabela 4 Indicadores de sustentabilidade para avaliação semafórica
Fonte: Elaboração Própria

Indicador	Descrição
Compromisso formal com Net Zero 2050	Avalia a existência de planos definidos publicamente para atingir a neutralidade carbónica até 2050
Participação ativa e eficaz no CORSIA	Verifica o envolvimento de cada uma das empresas no programa em questão.
Uso recorrente e operacional de SAF	Mede a utilização prática e recorrente de combustíveis sustentáveis nas operações aéreas comerciais.
Eletrificação da cadeia logística terrestre	Analisa a presença de veículos e equipamentos elétricos nas operações em terra.
Investimento em tecnologias disruptivas	Examina iniciativas em inovação ambiental, como hidrogénio, propulsão elétrica ou aeronaves híbridas.

Indicador	Descrição
Critérios ambientais nos contratos de fornecedores	Verifica se há cláusulas verdes nos contratos e exigências ambientais na cadeia de fornecimento.
Compensação de carbono com impacto comprovado	Observa a participação em projetos de compensação validados.

Com estes indicadores em questão, foi possível criar a seguinte avaliação semafórica e a respetiva interpretação (Tabela 5):

Tabela 5 Resultado da aplicação do método de avaliação semafórico
Fonte: Elaboração Própria

Indicador de Avaliação	Emirates	DHL Express
1. Compromisso formal com Net Zero 2050		
2. Participação ativa e eficaz no CORSIA		
3. Uso recorrente e operacional de SAF		
4. Elettrificação da cadeia logística terrestre (GSE e frota)		
5. Investimento em tecnologias disruptivas		
6. Critérios ambientais nos contratos de fornecedores		
7. Compensação de carbono com impacto comprovado		

A análise detalhada resultante deste método de avaliação semafórica dos indicadores revela aspetos que se encontram em contraste entre a Emirates e DHL no que respeita ao seu posicionamento ambiental e o objetivo do NET ZERO 2050.

No que diz respeito ao primeiro indicador, ou seja, o compromisso formal com a meta de Net Zero até 2050, a DHL destaca-se por apresentar um plano de ação coerente, com foram criadas metas intermédias claras até 2030 (avaliação verde). Por outro lado, a Emirates, embora tenha declarado adesão e interesse em atingir o objetivo de neutralidade carbónica, pela revisão de literatura realizada, parece que a mesma ainda não apresentou um plano concreto nem metas públicas, quer seja a médio ou longo prazo, o que justifica uma classificação intermédia (avaliação amarela).

Quanto à participação no programa CORSIA, tanto a Emirates como a DHL demonstram uma conformidade plena. A Emirates integra o programa através da política ambiental dos Emirados Árabes Unidos, enquanto a DHL, como parte do grupo Deutsche Post DHL, adere de forma abrangente e consistente (avaliações verdes).

Relativamente uso de combustíveis sustentáveis, a DHL posiciona-se uma vez mais como líder, uma vez que tem operações ativas em hubs estratégicos, além de contratos de longo prazo com fornecedores especializados (avaliação verde). A Emirates, embora

envolvida em voos-piloto e parcerias institucionais, ainda não implementou o uso de SAF de forma contínua nas suas rotas comerciais, especialmente fora da região do Golfo (avaliação amarela).

O quarto indicador, relativamente à eletrificação da cadeia logística terrestre, revelou-se um dos pontos de maior contraste entre as duas companhias. A DHL apresenta avanços significativos, com uma ampla frota de veículos elétricos, juntamente com um plano estruturado de eletrificação dos seus equipamentos de apoio em terra (avaliação verde). Já a Emirates demonstra elevada dependência de combustíveis fósseis nestas operações, sem quaisquer planos divulgados de transição tecnológica, o que reflete um atraso neste aspeto (avaliação vermelha).

Relativamente ao investimento em tecnologias disruptivas, ou alternativas — como propulsão elétrica, hidrogénio ou híbrida — ambas as empresas mantêm envolvimento e interesse em projetos de inovação. No entanto, os investimentos diretos ainda são limitados para a concretização de estudos e outras iniciativas iniciais (avaliações amarelas).

A integração de critérios ambientais nos contratos de fornecedores é outro domínio onde se observam disparidades. A DHL implementa cláusulas ambientais nos contratos com fornecedores estratégicos, incluindo KPIs ligados à sustentabilidade (avaliação amarela). A Emirates, em contrapartida, parece que ainda não estabeleceu um sistema formal de exigências ambientais na sua cadeia de fornecimento, atuando apenas de forma pontual e não recorrente (avaliação vermelha).

Por fim, no que diz respeito à compensação de emissões, a DHL participa ativamente em projetos focados em reflorestamento, energia renovável e captura de carbono (avaliação verde). A Emirates, embora envolvida em algumas ações compensatórias, não comunica publicamente, e de forma transparente, os possíveis resultados desses projetos, o que limita a confiança nos seus resultados (avaliação amarela).

4.2 DESAFIOS DAS EMPRESAS: CUSTOS, TECNOLOGIA E REGULAÇÃO

A sustentabilidade tornou-se um dos principais eixos estratégicos para o setor da aviação. A crescente pressão internacional para atingir as zero emissões poluentes até 2050,

conhecida como NET ZERO 2050, impõe exigências significativas a operadores como a Emirates e a DHL.

A seguir, apresentam-se tabelas analíticas que consolidam os principais compromissos estratégicos, projetos em desenvolvimento e desafios identificados nas operações das companhias aéreas Emirates e DHL no âmbito da sua transição para a neutralidade carbónica até 2050 (Net Zero 2050). A estruturação da informação permite uma análise comparada e sistemática das diferentes dimensões envolvidas neste processo, nomeadamente os aspetos tecnológicos, económicos, logísticos, regulatórios e sistémicos. Esta abordagem visa clarificar o grau de alinhamento das iniciativas corporativas com os objetivos definidos pela IATA e por outras entidades internacionais, bem como evidenciar os constrangimentos operacionais e estruturais que limitam a escalabilidade das soluções sustentáveis atualmente disponíveis. As tabelas seguintes sintetiza esta informação, facilitando a sua integração na análise crítica subsequente. Posterior às tabelas, será realizada uma análise crítica das mesmas.

4.2.1 DESAFIOS CRÍTICOS POR NATUREZA E TEMPORALIDADE

A Tabela 6 resume os desafios enfrentados por ambas as companhias, repartindo-os consoante a sua natureza (tecnológicos, financeiros, operacionais, políticos e ambientais).

A impossibilidade realizar **voos longos movidos a eletricidade**, coloca a Emirates, onde a base de operação incide sobre voos longos, numa situação particularmente vulnerável. Sem alternativas viáveis a curto e médio prazo, será que não faria sentido a companhia diversificar a sua operação para incluir o uso destas novas tecnologias em voos curtos/médios? Esta diversificação permitiria, parcialmente, equilibrar a sua os gases libertados enquanto as tecnologias para voos de longo curso não atingem a maturidade necessária para o seu uso seguro.

O atual nível de maturidade tecnológica das **soluções alternativas à aviação convencional ainda se encontra em fase piloto**, pelo que é insuficiente para garantir a neutralidade carbónica até 2050 sem riscos significativos. Este facto sugere que a estratégia de descarbonização deveria focar-se mais no aumento do uso de SAF misturado com

querosene tradicional. Embora outras tecnologias ainda se encontrem em fase embrionária, esta mistura de combustíveis iria certamente reduzir a quantidade de gases nocivos enviados para a atmosfera.

Tabela 6 Desafios Críticos por Natureza e Temporalidade

Fonte: Elaboração Própria

DESAFIOS TECNOLÓGICOS		
Descrição	Empresa	Prazo Estimado
Inviabilidade de eletrificação/hidrogénio para voos longos devido ao volume dos tanques e estrutura	Emirates	Longo prazo (pós-2040)
Tecnologias emergentes (hidrogénio, elétrica) ainda em fase piloto	Ambas	Longo prazo
Adaptação de infraestruturas aeroportuárias aos novos combustíveis	Ambas	Longo prazo
Escassez de matéria-prima sustentável para SAF	Ambas	Médio a longo prazo
DESAFIOS ECONÓMICOS E FINANCEIROS		
Descrição	Empresa	Prazo Estimado
Elevado custo do SAF em comparação com querosene	Ambas	Médio prazo
Impacto nos custos operacionais e competitividade	DHL	Contínuo (até 2030+)
Necessidade de investimentos intensivos em tecnologia verde	Ambas	Médio prazo
DESAFIOS LOGÍSTICOS E OPERACIONAIS		
Descrição	Empresa	Prazo Estimado
Cadeia de abastecimento limitada de SAF	Emirates	Curto a médio prazo
Dependência de acordos com fornecedores (ex: Shell)	Emirates	Contínuo
Disponibilidade limitada de SAF nos aeroportos	Ambas	Curto a médio prazo
DESAFIOS REGULATÓRIOS E POLÍTICOS		
Descrição	Empresa	Prazo Estimado
Ausência de regulamentação global harmonizada	Ambas	Longo prazo
Falta de incentivos governamentais para produção de SAF	Ambas	Médio a longo prazo
Inexistência de políticas específicas para aviação	Ambas	Curto a médio prazo
DESAFIOS SISTÉMICOS / AMBIENTAIS		
Descrição	Empresa	Prazo Estimado
Crescimento constante da procura por transporte aéreo	Ambas	Contínuo
Pressão pública e reputacional por maior sustentabilidade	Ambas	Contínuo

O desafio da adaptação das **infraestruturas aeroportuárias** para o manuseio de novos combustíveis como SAF ou hidrogénio é frequentemente subestimado. Sem investimentos maciços e coordenados a nível internacional, a capacidade de abastecimento destas novas tecnologias ficará confinada a poucos aeroportos, limitando a operacionalidade global das companhias aéreas. Pergunto-me se a Emirates, enquanto operador global, não deveria também liderar projetos de projeção de infraestruturas.

A produção de SAF enfrenta uma ameaça estrutural: a **escassez de matéria-prima**. O aumento estrondoso da procura poderá desencadear conflitos de uso de terrenos, afetando outros setores como o alimentar. Esta realidade levanta a questão de se as companhias aéreas não deveriam já estar a investir no desenvolvimento de alternativas como e-fuels baseados em eletricidade renovável, reduzindo a dependência de matérias-primas vindas diretamente do solo.

O **custo significativo de SAF** em comparação com o combustível convencional (querosene) representa um entrave prático à sua utilização. É legítimo questionar se a adoção do SAF poderá ocorrer sem o risco de tornar as operações economicamente inviáveis ou excessivamente dispendiosas para o passageiro. Talvez fosse prudente que a Emirates e a DHL pressionassem mais intensamente por subsídios governamentais específicos para a aviação sustentável.

O aumento dos **custos operacionais** decorrente da adoção de práticas sustentáveis poderá afetar seriamente a competitividade das companhias aéreas num mercado cada vez mais sensível ao preço. Torna-se, portanto, altamente recomendável e importante que haja um enquadramento regulatório que garanta igualdade de condições para todos os operadores, em que quem investir em sustentabilidade poderá ficar em desvantagem. Assim, torna-se importante que as companhias líderes do setor pressionem os governos pela introdução de normas mínimas obrigatórias.

O elevado **volume de investimento** necessário para a transição energética é um dos principais entraves à implementação de soluções sustentáveis. Mesmo para grupos como a Emirates e a DHL, com capacidade financeira considerável, o impacto financeiro desta transição seria notável. Sem uma articulação forte com governos e entidades de financiamento internacional, a realização das metas propostas poderá ser inviabilizada.

O **abastecimento limitado de SAF** em hubs estratégicos como o Aeroporto do Dubai é uma vulnerabilidade crítica para a estratégia da Emirates. Aposto isto, existe a forte dependência para com fornecedores externos. Questiono se a companhia não deveria considerar investimentos próprios em produção de SAF ou parcerias de *joint venture* com produtores, garantindo o controlo parcial do seu uso de SAF. Paralelamente, torna-se

importante que outros hubs comecem a pensar se seria vantajoso ou não apostar nesses mesmos investimentos próprios de produção de SAF local.

A atual estratégia baseada em **acordos** individuais com fornecedores, como a parceria entre a Emirates e a Shell, mostra-se frágil face à necessidade de estabilidade de abastecimento. Considero que seria mais eficaz a criação de consórcios para a produção e aquisição coletiva de SAF, facilitando a implementação de soluções de produção em larga escala, essenciais para viabilizar a neutralidade carbônica no horizonte temporal proposto.

A ausência de um quadro regulatório harmonizado para a aviação sustentável gera uniformidades que dificultam o planejamento a longo prazo por parte das companhias. Esta **falta de uniformidade** é particularmente grave para operadores globais como a Emirates e a DHL, que operam em múltiplas jurisdições. Será que não faria sentido estas companhias atuarem de forma mais concertada, criando uma aliança entre potenciais interessados de forma a terem alguma palavra a dizer sobre o assunto mostrando assim o alto interesse demonstrados e possivelmente sensibilizando os governos para a realidade vivida?

A **ausência de políticas** para apoiar a produção de SAF é um dos principais fatores de pouco interesse no arranque para o sucesso da estratégia de descarbonização do setor. Sem incentivos fiscais, garantias de compra ou subsídios diretos, o custo de produção do SAF permanecerá elevado, travando o seu crescimento. Deveriam a Emirates e a DHL pressionar por políticas de incentivo em conjunto com a ICAO ou a IATA?

O **crescimento contínuo da procura por transporte aéreo** representa um dos maiores paradoxos para a sustentabilidade do setor. Embora as companhias tenham interesse em investir em combustíveis alternativos, o aumento absoluto do número de passageiros e de volumes transportados poderá anular os ganhos de eficiência alcançados. Pergunto-me se, sem políticas robustas de gestão de procura ou incentivos para transportes alternativos, será realmente possível atingir o NET ZERO 2050? A estratégia atual parece não endereçar suficientemente com o objetivo proposto.

4.2.2 COMPROMISSOS ESTRATÉGICOS DE SUSTENTABILIDADE

A Tabela 7 resume os compromissos assumidos por ambas as companhias.

Tabela 7 Compromissos Estratégicos de Sustentabilidade
Fonte: Elaboração Própria

Compromisso	Empresa	Âmbito	Categoria	Prazo
Alcançar zero emissões líquidas até 2050 (Net Zero 2050)	Ambas	Corporativo / Global	Ambiental / Estratégico	2050
Reduzir emissões totais para <29 milhões de toneladas de CO ₂	DHL	Corporativo	Ambiental / Quantitativo	2030
Redução de 42% nas emissões (escopos 1 e 2)	DHL	Emissões diretas	Ambiental / Institucional	2030
Redução de 25% nas emissões (escopo 3)	DHL	Emissões indiretas	Ambiental / Institucional	2030
30% dos combustíveis usados serem SAF	DHL	Aviação	Tecnológico / Ambiental	2030
60% da frota terrestre elétrica	DHL	Logística terrestre	Tecnológico / Ambiental	2030

O compromisso de **atingir as zero emissões de gases poluentes** até 2050 é ambicioso e alinhado com a agenda internacional de descarbonização. No entanto, tendo em conta a atual dependência da aviação em combustíveis fósseis e a lentidão no desenvolvimento de alternativas sustentáveis, é legítimo questionar se este objetivo é verdadeiramente alcançável sem medidas mais agressivas. As companhias aéreas necessitarão de adotar políticas muito mais rígidas e exigentes de transição, incluindo uma renovação acelerada da frota existente e investimentos massivos em SAF e tecnologias alternativas. Caso contrário, este compromisso poderá revelar-se muito pouco efetivo e credível.

Reduzir em 42% as emissões diretas (Scope 1) e indiretas (Scope 2) até 2030 é um compromisso exigente que demonstra ambição. Contudo, pergunto-me até que ponto a DHL terá capacidade de reduzir tão drasticamente as suas emissões em pouco menos de cinco anos, considerando a dependência de energias fósseis e de infraestruturas de terceiros preparadas para alcançar esses objetivos. Seria interessante perceber se a empresa pretende recorrer mais concretamente a fabricar energias renováveis próprias ou se pretende obtê-las contratando-as a terceiros, uma vez que apenas a eficiência operacional dificilmente permitirá cumprir integralmente esta meta. Já a **redução de 25% no Scope 3** representa um desafio ainda mais exigente, dado que envolve mais agentes,

como fornecedores e parceiros externos. Existe um risco real de que a DHL não consiga controlar eficazmente as práticas de toda a sua cadeia de abastecimento. Pergunto-me se seria necessário, ou até mesmo mais prudente, criar mecanismos de incentivo ou penalização mais rigorosos para forçar alterações de comportamento em fornecedores menos comprometidos com a sustentabilidade, garantido a probabilidade de alcançar esse objetivo.

A DHL comprometeu-se a utilizar 30% de **combustíveis sustentáveis (SAF)** nas suas aeronaves até 2030, o que representa um objetivo ambicioso. No entanto, considerando as limitações atuais de oferta de SAF e o elevado custo de aquisição do mesmo, questiono se este compromisso é realista, tendo em conta se a companhia precisará apenas de depender de adquirir SAF através de terceiros ou se será mais credível se a companhia apostar numa estratégia paralela de investimento próprio de produção de SAF. Seria prudente considerar que, mesmo que a meta não seja plenamente atingida, todos os esforços realizados até 2030 seriam significativos nesse sentido visto que já trariam benefícios consideráveis para a redução da pegada ecológica da empresa.

O compromisso da DHL de **eletrificar 60% da sua frota de GSE** até 2030 é particularmente importante para o objetivo do Net Zero, reduzindo assim as emissões nos setores urbanos e suburbanos. No entanto, a concretização deste objetivo dependerá fortemente do avanço das infraestruturas de carregamento e da disponibilidade de veículos elétricos. Levanta-se assim a dúvida sobre se haverá disponibilidade de redes elétricas de carregamento, especialmente em países emergentes.

4.2.3 PROJETOS, AÇÕES E INICIATIVAS EM CURSO OU PLANEADAS

A Tabela 8, resume os projetos, ações e iniciativas realizadas por ambas as companhias.

Tabela 8 Projetos, Ações e Iniciativas em Curso ou Planeadas
Fonte: Elaboração Própria, adaptado de (Emirates, 2024; DHL, 2023)

Projeto / Ação	Empresa	Tipo de Intervenção	Estado	Resultado Esperado / Reportado
Renovação da frota com Airbus A350 e Boeing 777X	Emirates	Tecnológico / Eficiência energética	Em execução	menor consumo de combustível
Adoção de Green SOPs	Emirates	Operacional / Eficiência	Implementado	menor consumo de combustível

Projeto / Ação	Empresa	Tipo de Intervenção	Estado	Resultado Esperado / Reportado
Parceria com Shell para SAF	Emirates	Logístico / Combustível	Implementado	Menores emissões de CO ₂
Voo experimental com 100% SAF	Emirates	Inovação / Tecnológico	Experimental	Validação tecnológica
Instalação de painéis solares	Emirates	Energia renovável / Infraestrutura	Em execução	Autossuficiência parcial
Reciclagem a bordo	Emirates	Economia circular / Resíduos	Em execução	Redução e reutilização de resíduos
Eletrificação dos GSE (>65% nos Países Baixos)	Emirates	Infraestrutura aeroportuária	Parcialmente feito	Redução de emissões locais
Aumento da frota elétrica	DHL	Logística terrestre	Executado	Redução de emissões urbanas
Investimento de €7 mil milhões	DHL	Financeiro / Estratégico	Em curso	Suporte à transição energética
GoGreen Dashboard	DHL	Digital / Monitorização ESG	Implementado	Transparência e gestão ambiental
GoGreen Plus	DHL	Comercial / Sustentável	Implementado	Serviço com menor pegada ecológica
Hubs logísticos neutros em carbono	DHL	Infraestrutura / Certificação verde	Em construção	Operações neutras

A aposta na **renovação da frota** com aeronaves mais eficientes, como o Airbus A350 e o Boeing 777X, é uma estratégia sólida e coerente para reduzir a intensidade de emissões por passageiro-quilómetro propagadas para a atmosfera. No entanto, a substituição completa da frota é um processo longo e que requer uma grande possibilidade de disponibilizar fundos, o que poderá atrasar os resultados efetivos. Pergunto-me se, para além da renovação total da frota, não seria sensato integrar práticas de retrofit em aeronaves já existentes, principalmente em aeronaves que são recentes na frota, bem como optar por usar materiais mais leves a bordo das aeronaves que resultem num menor peso total nas aeronaves, maximizando ganhos intermédios enquanto se planeia uma transição de longo prazo mais sustentável.

A implementação de **Green SOPs** é uma medida inteligente que atua sobre a eficiência operacional imediata. A redução de consumo de combustível e emissões associadas evidenciam resultados concretos e positivos. No entanto, questiono se estas práticas são suficientemente disseminadas entre todas as tripulações e aeronaves da frota, ou se apenas uma parte limitada beneficia delas. A extensão plena destas práticas seria fundamental para maximizar o seu impacto no processo de descarbonização da companhia.

A parceria entre a **Emirates e a Shell** para o abastecimento de SAF é estratégica, permitindo ganhos reais na utilização de combustíveis sustentáveis. Contudo, a sua limitação ao aeroporto de Dubai demonstra as dificuldades de alargamento da iniciativa a nível global, ou seja, apenas os voos da Emirates com partido do aeroporto de Dubai poderiam beneficiar de SAF, enquanto voos com partido num outro qualquer aeroporto com destino a Dubai, não poderia beneficiar de SAF. Neste sentido, pergunto-me se a Emirates deveria priorizar a replicação deste modelo noutros aeroportos espalhados pelo mundo relevantes da sua operação internacional para garantir uma maior cobertura do uso de SAF nas suas operações.

O voo de demonstração utilizando 100% SAF num dos motores de um Boeing 777-300ER é um marco tecnológico relevante. No entanto, tratar-se de apenas um motor e de um voo isolado levanta dúvidas sobre a escalabilidade desta tecnologia. Pergunto se a Emirates tem planos concretos para realizar testes mais amplos, em ambos os motores e em operações comerciais reais, o que seria um passo fundamental para validar esta solução numa escala operacional significativa.

A instalação de **painéis solares em hangares** representa uma aposta correta na produção descentralizada de energia renovável. Ainda que a poluição gerada pela energia usada pela companhia em hangares poderá não ser comparável com os gases libertados pelas aeronaves usando combustíveis convencionais, é de extrema importância tentar limitar ao máximo a libertação de gases gerados para a atmosfera.

Os programas de **reciclagem a bordo**, como a reutilização de tabuleiros, tigelas e cobertores, demonstram um compromisso com a economia. Mas, o consumo de combustível dos aviões é infinitamente mais relevante do que o plástico reciclado ou os cobertores reutilizados. Posto isto, levanto a hipótese de que estas ações de reciclagem, embora importantes, podem acabar por funcionar mais como *marketing* do que como mudanças estruturais sérias.

A eletrificação dos **GSE** é uma iniciativa muito importante para reduzir as emissões da companhia em operações aeroportuárias. O facto de se ter atingido níveis superiores a 65% nos Países Baixos é positivo, mas levanta a questão: porque não replicar esta taxa noutros pontos de operação da Emirates, como Londres, LA, entre outros? O desafio,

naturalmente, é o investimento abrupto necessário para substituir equipamentos antigos. Ainda assim, parece lógico que hubs estratégicos, como o Dubai, deveriam ter prioridade máxima nesta eletrificação.

O **aumento da frota elétrica** da DHL demonstra um esforço claro para reduzir as emissões terrestres. Ainda assim, permanece a dúvida sobre se apenas a eletrificação da frota será suficiente para enfrentar os desafios de descarbonização. De facto, de pouco adiantará ter uma frota de GSE movida a eletricidade se a origem da eletricidade utilizada e a gestão do ciclo de vida das baterias comprometerem parte dos ganhos ambientais prometidos pela simples substituição da frota.

O **investimento de 7 mil milhões de euros** por parte da DHL, demonstra um compromisso financeiro robusto por parte da companhia para acelerar a descarbonização e a sua pegada no ambiente. Contudo, permanece a dúvida sobre a alocação exata desses fundos e se serão suficientes face aos custos elevados associados a tecnologias emergentes como SAF, eletrificação de recursos e construção de hubs sustentáveis. Será necessário uma gestão eficiente e concentrada nos objetivos a atingir para que não exista o risco de dispersão de esforços e de um impacto inferior ao esperado. Monitorizar os resultados será fundamental para validar o sucesso deste investimento.

O **GoGreen Dashboard** é uma ferramenta inovadora que permite a monitorização de emissões por cliente, aumentando a transparência. No entanto, é legítimo questionar até que ponto a disponibilização de dados se traduz efetivamente em alterações de comportamento por parte dos clientes. Será que os passageiros se importam com as emissões gerados sem que haja incentivos ou penalizações claras, correndo o risco desta plataforma ser mais uma ferramenta informativa do que transformadora no combate às emissões da DHL.

O programa **GoGreen Plus**, que oferece soluções de transporte com menor pegada ecológica, constitui uma tentativa relevante de diferenciar a oferta da DHL. No entanto, pergunto-me se existe, de facto, uma procura suficiente por parte dos clientes para este tipo de serviço premium e que de facto resulte numa ação coerente e realista da redução de emissões. Além disso, o custo adicional associado pode limitar a adesão dos clientes a este programa fazendo-os preferir não gastar nenhum valor extra,

especialmente num setor onde o preço continua a ser um fator decisivo na escolha do fornecedor logístico.

A construção de **hubs logísticos** com neutralidade carbónica é uma iniciativa altamente estratégica. No entanto, levanta questões práticas: até que ponto o investimento em certificações de carbono e tecnologias verdes será compatível com a rentabilidade económica destes hubs? Pergunto-me se a DHL conseguirá manter a competitividade em preços e tempos de entrega com que já habituou os clientes, enquanto absorve os custos adicionais associados a essas infraestruturas de elevada sustentabilidade.

4.3 IMPACTO DAS ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS RUMO ÀS EMISSÕES ZERO EM 2050

A crescente urgência em travar as alterações climáticas e em promover práticas sustentáveis impõe ao setor da aviação uma responsabilidade inadiável: alinhar as suas operações com os compromissos globais de neutralidade carbónica até 2050. Neste contexto, a presente análise tem como objetivo avaliar criticamente o impacto das estratégias de sustentabilidade adotadas por dois dos principais operadores do setor aéreo — a Emirates, na vertente do transporte de passageiros, e a DHL, no transporte de carga — no caminho para a concretização do objetivo Net Zero 2050. Através de uma análise SWOT, pretende-se identificar os fatores internos e externos que influenciam positiva ou negativamente a eficácia das medidas implementadas por estas companhias, incluindo o uso de combustíveis sustentáveis (SAF), a modernização de frotas, a digitalização de operações logísticas e os investimentos em tecnologias emergentes, como a propulsão elétrica e o hidrogénio.

Esta abordagem permitirá compreender em que medida as forças internas podem ser alavancadas, as fraquezas mitigadas, as oportunidades exploradas e as ameaças enfrentadas com eficácia, servindo também de base para a futura aplicação da análise PESTEL, que completará o diagnóstico estratégico ao considerar os fatores políticos, económicos, sociais, tecnológicos, ecológicos (ambientais) e legais do ambiente externo. Trata-se, assim, de um contributo fundamental para entender a viabilidade, os riscos e o potencial transformador das ações sustentáveis em curso no setor da aviação, oferecendo

uma perspectiva comparativa entre dois operadores com realidades distintas, mas um objetivo comum: alcançar um futuro operacional sem emissões.

4.3.1 ANÁLISE SWOT EMIRATES

Após a revisão de literatura realizada, podemos sugerir a seguinte análise SWOT, no caso da Emirates, tendo em vista o objetivo do alcance do Net Zero 2050.

4.3.1.1 Forças (*Fatores Internos Positivos*):

- Frota moderna: a companhia apresenta uma das mais recentes e eficientes frotas do mundo, contribuindo para uma menor emissão de gases nocivos por passageiro-quilómetro;
- Apoio governamental por parte do governo local: o alinhamento estratégico da Emirates juntamente com as políticas de sustentabilidade existentes nos Emirados Árabes Unidos, facilita o acesso a recursos e incentivos para uma inovação mais sustentável;
- Compromisso institucional com a sustentabilidade: a Emirates tem investido em programas de reciclagem a bordo e otimização da eficiência de voo, com destaque para a sua iniciativa de reutilização de materiais de bordo.

4.3.1.2 Fraquezas (*Fatores Internos Negativos*)

- Dependência de combustíveis fósseis: a Emirates ainda opera maioritariamente com combustível convencional (querosene); embora haja vontade em aumentar o uso de SAF nas suas operações, a Emirates opera com uma fração mínima de SAF, quando comparado com o seu consumo total de combustível;
- Modelo de negócio restrito: a Emirates baseia as suas operações em voos de longo curso, este tipo de operação é menos compatível, no curto prazo, com tecnologias emergentes como a propulsão elétrica ou a hidrogénio, que têm um alcance ainda muito limitado;
- Escassez de SAF disponível no Médio Oriente: a produção e infraestrutura para SAF são escassas na região MENA, dificultando a transição energética.

4.3.1.3 Oportunidades (*Fatores Externos Positivos*)

- Investimento em SAF e parcerias tecnológicas: existe um potencial significativo para parcerias com fornecedores internacionais de SAF e desenvolvimento de infraestruturas locais;
- Inovação em aeronaves mais sustentáveis: o desenvolvimento de aeronaves movidas a hidrogénio ou híbridas poderá tornar-se viável para parte da sua frota nos próximos 20 anos;
- Turismo sustentável como vantagem competitiva: o reforço da imagem ambiental pode atrair turistas mais conscientes.

4.3.1.4 Ameaças (*Fatores Externos Negativos*):

- Regulamentação internacional cada vez mais exigente: as pressões da ICAO, UE e outras entidades podem forçar adaptações rápidas e dispendiosas;
- Concorrência com operadores de baixo custo mais ágeis na adaptação ambiental;
- Volatilidade do preço dos combustíveis sustentáveis e incerteza na sua cadeia de abastecimento.

4.3.1.5 Síntese

A Emirates, enquanto operador de longo curso sediado num hub intercontinental no Médio Oriente, apresenta uma base sólida a nível de recursos, apoio institucional e modernização da frota. No entanto, a sua forte dependência em relação aos combustíveis fósseis convencionais e a escassa disponibilidade de combustíveis sustentáveis (SAF), na região MENA, colocam sérios entraves à transição energética.

A estratégia da Emirates revela um compromisso crescente com a sustentabilidade através de medidas operacionais como programas de reciclagem a bordo e otimização de rotas, mas ainda carece de uma transformação estrutural que permita enfrentar o desafio tecnológico e ambiental da descarbonização. A empresa deverá apostar fortemente na diversificação das fontes energéticas, no desenvolvimento de parcerias para SAF e, futuramente, na incorporação de aeronaves de nova geração alimentadas por

hidrogénio ou eletricidade. Além disso, precisa de antecipar os impactos de uma regulação internacional cada vez mais exigente. Em suma, a Emirates está posicionada para acompanhar a transição, mas necessita de acelerar o ritmo das suas ações e de reduzir a sua dependência da infraestrutura energética convencional do Golfo.

4.3.2 ANÁLISE SWOT DHL

Tendo em visto o mesmo objetivo de sustentabilidade até 2050, sugere-se a seguinte análise SWOT para a DHL:

4.3.2.1 Forças (Fatores Internos Positivos)

- Diversificação energética: a DHL investe em diferentes formas de energia limpa, incluindo SAF, eletricidade e soluções baseadas em hidrogénio;
- Inovação tecnológica: está a liderar testes com aeronaves elétricas e drones para entregas de curta distância;
- Estratégia abrangente de sustentabilidade: a DHL já incorporou objetivos ambientais no seu plano estratégico até 2050, incluindo investimentos em SAF e eletrificação de frotas de apoio terrestres.

4.3.2.2 Fraquezas (Fatores Internos Negativos)

- Custos elevados com inovação: a aposta em tecnologias emergentes implica elevados custos de investigação, implementação e adaptação de infraestruturas ou criação de novas infraestruturas;
- Frota aérea menos homogénea: a DHL opera com uma variedade de aeronaves, algumas das quais mais antigas e com menores níveis de eficiência energética;
- Desafios de coordenação global: Como empresa multinacional, a DHL depende de diferentes regulações e condições infraestruturais nos vários países onde atua.

4.3.2.3 Oportunidades (Fatores Externos Positivos):

- Transição digital e logística verde: a automatização e digitalização das cadeias de abastecimento permite maior eficiência e menor emissão;

- Expansão do comércio eletrônico sustentável: com a crescente exigência por entregas que causem uma menor pegada de carbono, a DHL pode capitalizar através de ofertas premium ecológicas;
- Apoios da UE e outros blocos económicos para iniciativas verdes.

4.3.2.4 Ameaças (Fatores Externos Negativos)

- Infraestruturas aeroportuárias ainda não adaptadas ao SAF e novas tecnologias;
- Aumento da concorrência por SAFs e recursos tecnológicos: a procura superará largamente a oferta nas próximas décadas, afetando a acessibilidade;
- Exposição a flutuações económicas globais: crises podem comprometer investimentos de longo prazo em sustentabilidade.

4.3.2.5 Síntese

A DHL apresenta-se como um caso mais maduro e dinâmico no que respeita à integração da sustentabilidade na sua estratégia corporativa. A empresa tem uma visão de longo prazo bem definida, com investimentos concretos em SAF, eletrificação da frota terrestre e exploração ativa de novas tecnologias, incluindo drones e aeronaves elétricas para entregas mais personalizadas. A sua abordagem descentralizada e presença global permitem-lhe adaptar estratégias consoante as condições locais, o que constitui uma vantagem competitiva significativa. No entanto, essa mesma dispersão operacional acarreta desafios ao nível da coordenação e da uniformização de práticas sustentáveis. A DHL está bem posicionada para liderar a transformação verde no transporte aéreo de carga, mas terá de superar limitações como a elevada variabilidade regulatória entre mercados e os custos associados à inovação tecnológica em larga escala. Com a continuidade do apoio político e da aposta em inovação, a empresa poderá não só cumprir as metas de 2050, mas também servir de referência para o setor logístico global.

Em paralelo com a análise SWOT, A análise PESTEL surge como uma ferramenta essencial para compreender o ambiente macroeconómico em que empresas como a Emirates e a DHL operam, permitindo identificar fatores externos que podem facilitar ou dificultar a implementação de estratégias rumo às zero emissões de carbono até 2050. Ao analisar

dimensões políticas, económicas, sociais, tecnológicas, ecológicas e legais, esta abordagem oferece uma perspetiva abrangente sobre os desafios e oportunidades que influenciam estas organizações. Esta análise revela, assim, como as diferentes realidades geográficas, modelos de negócio e contextos regulatórios moldam a eficácia e viabilidade das suas respetivas transições para um futuro sustentável.

4.3.3 ANÁLISE PESTEL EMIRATES

4.3.3.1 Fator Político

A Emirates beneficia de forte apoio institucional por parte dos Emirados Árabes Unidos, um país com ambições em tornar-se referência em energia limpa. No entanto, ainda existem limitações na regulação interna quanto à promoção efetiva de SAF e incentivos à aviação sustentável, o que atrasa o progresso face às exigências internacionais (ICAO, UE).

4.3.3.2 Fator Económico

O modelo de negócio baseado em ligações intercontinentais é altamente rentável, mas extremamente dependente de combustíveis fósseis. O custo de uma transição energética é elevado, especialmente pela falta de infraestrutura local para produção e distribuição de SAF ou outras fontes de energia.

4.3.3.3 Fator Social

Os passageiros da Emirates tendem a ter elevadas expectativas de conforto e luxo, o que pode dificultar alterações estruturais nas operações (ex: redução de peso ou equipamentos a bordo). Contudo, existe uma crescente consciencialização ambiental entre os viajantes, o que cria uma oportunidade para valorizar práticas sustentáveis como fator de diferenciação.

4.3.3.4 Fator Tecnológico

Embora a Emirates possua uma frota moderna, as tecnologias de propulsão limpa (elétrica e hidrogénio) ainda estão longe de ser aplicáveis a voos de longo curso. A companhia terá de investir fortemente em inovação e parcerias com fabricantes para acompanhar os avanços nesta área.

4.3.3.5 Fator Ecológico

O setor da aviação é pressionado para reduzir a sua pegada ecológica, e a Emirates, como grande operador global, está sob especial escrutínio. O aumento das temperaturas na região MENA também pode afetar a eficiência operacional e a infraestrutura aeroportuária no longo prazo.

4.3.3.6 Fator Legal

A crescente imposição de regulamentações ambientais por parte da ICAO, da UE e de outros blocos pode impactar negativamente a operação da Emirates, caso não consiga cumprir com metas de redução progressiva de emissões e introdução de SAF nas suas rotas.

4.3.3.7 Síntese

A análise PESTEL da Emirates revela que, embora a companhia beneficie de um forte apoio político e de recursos económicos consideráveis, enfrenta desafios significativos para alinhar-se com os objetivos globais de sustentabilidade. A ausência de uma infraestrutura sólida para produção e distribuição de combustíveis sustentáveis (SAF) nos Emirados Árabes Unidos, associada à predominância de voos de longo curso — para os quais as tecnologias de propulsão alternativa ainda não estão maduras — condiciona a implementação de soluções eficazes no curto e médio prazo. Do ponto de vista legal, a Emirates poderá enfrentar sanções e restrições em mercados externos caso não acompanhe os requisitos ambientais mais exigentes, como os impostos sobre emissões na UE. Ainda que existam oportunidades em termos de reputação e inovação, será crucial que a empresa invista na antecipação tecnológica, na diversificação energética e em parcerias estratégicas que permitam contornar as limitações atuais do seu contexto regional. Em suma, a Emirates encontra-se perante um ambiente externo desafiante, no qual a sua capacidade de adaptação será determinante para manter a competitividade e alcançar a neutralidade carbónica até 2050.

4.3.4 ANÁLISE PESTEL DHL

4.3.4.1 Fator Político

A DHL opera globalmente e está sujeita a políticas ambientais diversas, mas beneficia-se sobretudo de regulamentações europeias que incentivam o uso de SAF, a

eletrificação da frota e a inovação sustentável. A companhia tem conseguido integrar os incentivos disponíveis nas suas estratégias de descarbonização.

4.3.4.2 Fator Económico

Apesar dos custos elevados associados à implementação de tecnologias limpas, a DHL encontra-se num segmento de mercado com elevado crescimento — o comércio tecnológico — o que permite absorver parte desses investimentos. O posicionamento “verde” também aumenta a atratividade junto de clientes empresariais conscientes.

4.3.4.3 Fator Social

Existe uma crescente pressão dos consumidores e das empresas para entregas com menor impacto ambiental. A DHL tem capitalizado esta tendência ao oferecer serviços logísticos sustentáveis e transparentes, com certificação de emissões e compensações voluntárias de carbono.

4.3.4.4 Fator Tecnológico

A DHL tem sido pioneira na adoção de tecnologias sustentáveis, incluindo drones, frotas elétricas e testes com aeronaves de curto alcance movidas a eletricidade. A capacidade de adaptação tecnológica é uma das suas principais vantagens competitivas na transição para emissões zero.

4.3.4.5 Fator Ecológico

A DHL enfrenta desafios significativos ao nível das emissões, sobretudo nos voos intercontinentais e na logística global, mas tem demonstrado um compromisso proativo na mitigação ambiental, através da integração do SAF e de soluções de compensação de carbono.

4.3.4.6 Fator Legal

A operação em múltiplas jurisdições implica a necessidade de cumprimento de regulamentações ambientais distintas, o que aumenta a complexidade legal. No entanto, a DHL tem mostrado capacidade de adaptação e antecipação às exigências legais, garantindo conformidade com os marcos regulatórios em constante evolução.

4.3.4.7 Síntese

A DHL, por sua vez, apresenta um enquadramento externo muito mais favorável à concretização da sua estratégia Net Zero. Inserida num contexto regulatório europeu fortemente orientado para a sustentabilidade, a empresa tem beneficiado de políticas públicas de incentivo, bem como de uma crescente sensibilidade ecológica por parte de consumidores e clientes empresariais.

O ambiente tecnológico também se revela promissor, com diversas inovações aplicáveis a curto prazo, como a eletrificação da frota terrestre e o uso de SAF em voos regionais. Apesar dos elevados custos envolvidos na transição, a robustez financeira da empresa e a procura crescente por soluções logísticas sustentáveis reforçam a viabilidade económica das suas iniciativas. Os principais riscos estão relacionados com a diversidade de regulamentações nos países onde opera, o que exige um sistema de gestão ambiental altamente eficiente e flexível.

No geral, a análise PESTEL demonstra que a DHL está bem posicionada para liderar a transformação “verde” no setor da carga aérea, com uma combinação de fatores externos que favorecem fortemente a execução e o sucesso das suas estratégias de descarbonização.

4.4 BOAS PRÁTICAS PARA UM TRANSPORTE DE CARGA SUSTENTÁVEL

Na análise desenvolvida ao longo desta investigação, foram evidenciadas práticas, tanto da DHL como da Emirates, à qual permitiram ir tirando conclusões sobre o que poderá ser considerado uma “boa prática”, ou o que poderá vir a ser, no setor da aviação. Apesar de grandes avanços que já têm sido feitos por parte das duas companhias, existem sempre oportunidades que podem ser criadas para melhoramento.

Numa primeira reflexão, e de acordo com a análise semaforica realizada anteriormente, houve dois indicadores que mereceram uma avaliação vermelha, no caso da Emirates. Nesse sentido, seria interessante a Emirates apostar num melhoramento desses aspetos. No caso da Emirates, algo que se revela de grande interesse para a mesma, passa pela eletrificação urgente das operações em terra, visto que, atualmente, a companhia ainda depende fortemente de combustíveis fósseis no apoio logístico terrestre,

nomeadamente em GSE, não só no Dubai, bem como em todos os aeroportos onde opera. Alguns passos que podiam ser tomados nesse sentido, passariam por estabelecer parcerias com fabricantes para testes piloto de GSE elétrico, implantar infraestruturas de carregamento em áreas operacionais dos aeroportos onde opera, ou pelo menos, em Dubai. Essa questão pode ser considerada complexa tendo em conta que poderá envolver negociações com o handling local e não apenas ser uma questão a ser considerada pela companhia.

Relativamente à relação que o Emirates tem com os seus fornecedores, seria pertinente a companhia apostar em novas cláusulas que, de certa forma, obriguem os fornecedores a dotar novas medidas mais sustentáveis no fornecimento de combustível, visto que parece que ainda não estabeleceu um sistema formal de exigências ambientais na sua cadeia de fornecimento. Assim, poderia servir como sugestão, A Emirates incluir cláusulas ESG (Ambiental, Social e Governança) obrigatórias nos contratos, exigir certificações ambientais aos fornecedores (ex.: ISO 14001) e priorizar parcerias com fornecedores que comprovem práticas sustentáveis e metas Net Zero próprias.

De acordo com as avaliações amarelas da análise semafórica, há alguns aspetos em que as duas companhias em estudo deveriam melhorar. No caso da Emirates, no sentido de assumir um compromisso formal com o Net Zero 2050, a mesma deveria publicar um plano estratégico oficial com metas Net Zero e datas definidas, e criar metas intermédias (2030, 2040) para acompanhar progresso. No caso da DHL, seria interessante que a companhia investisse na produção própria de SAF, visto que atualmente depende de fornecedores externos. Ao criar unidades de produção próprias, em parceria com outras entidades, ou não, poderia garantir segurança de abastecimento e reduzir custos desnecessários. Se esse cenário não for realista para a companhia, poderia ser interessante desenvolver um sistema de incentivos para fornecedores com baixa pegada de carbono. Embora a DHL já inclua cláusulas “verdes” nos contratos que realiza com fornecedores, poderia também premiar financeiramente os parceiros que se revelassem os mais sustentáveis.

Outra sugestão passaria por estudar potenciais “novas rotas verdes”, com base em análises climáticas em tempo real, otimizando rotas com menos resistência atmosférica e

menor consumo de combustível. Seria interessante também a criação de uma plataforma pública de reporte de impacto, semelhante com o que foi sugerido anteriormente para a DHL, onde uma ferramenta de análise do estilo “*Emirates Climate Tracker*” permitiria partilhar em tempo real os dados de emissões e de redução. Esta ferramenta permitiria um estudo mais rigoroso do impacto que cada rota provoca a nível de carbono libertado. Paralelamente a estas sugestões, poderia ser interessante a criação de um centro de testes tecnológico, em Dubai, na medida em que se conseguia estudar melhor a introdução de novas tecnologias na frota da Emirates, levando assim à produção de protótipos de aviação com hidrogénio, combustão híbrida, entres outras. Visto que o Dubai irá construir o novo aeroporto do Dubai a partir do atual aeroporto internacional Al Maktoum, torna-se bastante relevante que a Emirates, como principal operador daquele futuro aeroporto, exerça pressão na empresa de gestão do aeroporto para que seja construído alinhando-se com normas de sustentabilidade, como 'carbono zero' com energia 100% renovável, e preparado para as novas tecnologias emergentes.

Adicionalmente, seria também interessante tanto para a DHL como para a Emirates que as companhias adotassem a incorporação de IA na simulação de rotas com meteorologia dinâmica, ou seja, criar um sistema que otimizasse o consumo de combustível em tempo real, com resposta a eventos climáticos extremos inesperados.

4.5 CONCLUSÃO

Com base na análise dos dados recolhidos e na discussão realizada ao longo deste capítulo, é agora possível dar uma resposta clara à questão de investigação: quais são os principais desafios e estratégias enfrentados e implementados pelos operadores aéreos de transporte de passageiros e carga, especificamente a Emirates e a DHL, para alcançar a meta de emissões líquidas zero até 2050?

Os principais desafios identificados centram-se sobretudo em três áreas: os custos elevados do SAF e de novas tecnologias de propulsão, a escassez de disponibilidade de uma cadeia de transporte robusta para combustíveis sustentáveis, e a ausência de uma regulamentação internacional uniforme e estável. Por outro lado, as estratégias implementadas pelas empresas estudadas passam pela adoção progressiva de SAF, projetos

de inovação tecnológica, eficiência operacional, e ações de compensação de carbono. A Emirates tem apostado em operações mais eficientes e no uso esporádico de SAF, enquanto a DHL tem vindo a liderar a implementação de soluções alternativas como frotas elétricas em terra, SAF e objetivos com base científica.

Quanto às hipóteses formuladas, os resultados permitem validar ou confirmar parcialmente as seguintes hipóteses:

- H1 confirmada: Os dados demonstram que os altos custos do SAF e das tecnologias de propulsão emergentes são, de facto, dos maiores entraves enfrentados pelos operadores aéreos. Ambos os casos de estudo mencionam o impacto económico destas soluções como um desafio significativo.
- H2 confirmada: O SAF é claramente a estratégia mais comum no que toca a transição económica, no entanto, a sua eficácia está limitada pela baixa oferta e custos elevados.
- H3 confirmada: A falta de harmonização das políticas regulatórias internacionais é uma preocupação transversal nas duas empresas estudadas, sendo vista como um fator que atrasa a tomada de decisão e o investimento sustentável.
- H4 parcialmente confirmada: As inovações tecnológicas como a propulsão elétrica e o hidrogénio são reconhecidas como promissoras, mas ainda em fase de desenvolvimento e com impacto limitado no curto prazo. Há potencial disruptivo, mas sem certezas práticas diretas até ao momento.
- H5 confirmada: As práticas da Emirates e DHL revelam-se úteis como referência, especialmente no que diz respeito a inovação, gestão de emissões de carbono e adaptação operacional. No entanto, é necessário ajustar essas práticas à realidade económica e regulamentar de cada região, como previsto na hipótese.
- H6 parcialmente confirmada: Verificou-se que algumas medidas são comuns entre operadores de passageiros e carga (como o SAF e a compensação de carbono), mas outras são distintas, devido às especificidades operacionais de cada segmento. Assim, esta hipótese não é rejeitada, mas é apenas parcialmente sustentada pelos dados.

Em suma, a análise permitiu responder de forma fundamentada à questão de investigação, demonstrando que, apesar do compromisso crescente com a neutralidade carbónica, as companhias aéreas enfrentam desafios económicos, tecnológicos e regulatórios complexos, que exigem respostas adaptadas, colaborativas e inovadoras. Os casos da Emirates e DHL revelam que não existe uma solução única, mas sim um conjunto articulado de práticas que, quando contextualizadas, podem contribuir para atingir o objetivo do *NET ZERO 2050*.

5 CONCLUSÃO

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho final de mestrado teve como objetivo principal analisar a sustentabilidade no setor da aviação, com foco em empresas líderes no setor como a Emirates e a DHL, em consonância com a meta de zero emissões de carbono emitidas para a atmosfera até 2050. Através do estudo realizado, foi possível aprofundar diversos aspectos relevantes que se refletem agora nesta conclusão, sintetizando os principais pontos que se propuseram a estudar, oferecendo uma análise crítica e sugerindo novas perspectivas de melhoria.

Este TFM centrou-se em responder a quatro objetivos principais à qual serão sintetizados nesta parte.

Respondendo ao primeiro objetivo proposto de analisar o contexto global e setorial das metas de descarbonização para o transporte aéreo de carga e passageiros, através do método de avaliação semafórico, tornou-se bastante evidente que o setor da aviação se encontra num momento crítico da história da aviação, destacando a complexa e exigente transição energética, que se vê pressionada por compromissos estabelecidos internacionalmente, como a meta do Net Zero 2050, estabelecida pela IATA. A ICAO, por sua vez, também lançou um plano semelhante, o CORSIA, que visa estabilizar as emissões de carbono emitidas, já a partir de 2020. No setor de carga e passageiros, os desafios são extremamente significativos: muitas companhias aéreas estão a ser fortemente desafiadas para incorporar SAF nas suas operações, desenvolver a eletrificação nas suas operações terrestres e outros projetos para atingir as metas do Net Zero 2050. Este esforço de atingir essa meta exige mudanças tecnológicas e operacionais, alinhadas com medidas regulatórias profundas e incentivos realistas.

Respondendo ao segundo objetivo proposto de identificar os principais obstáculos enfrentados pelas duas companhias em estudo, relativamente a atingir a meta do Net Zero 2050, o estudo em questão evidenciou três categorias principais de obstáculos. Os custos elevados do SAF revela-se entre 4 e 5 vezes superior ao do combustível convencional

(querosene), o que dificulta a adoção em larga escala do uso do mesmo. As limitações tecnológicas para uso nas aeronaves também se revelam muito precoces, pelo que não existem ainda aeronaves comerciais de longo curso equipadas com propulsão elétrica ou a hidrogénio que sejam operacionalmente viáveis. Seguindo esse raciocínio, as infraestruturas para eletrificação terrestre são muito escassas, especialmente em aeroportos fora da Europa. O último aspeto que impacta as companhias aéreas de atingir o NET ZERO, são os desafios regulatórios, pelo que a falta de padronização global relativamente a políticas de incentivos fiscais, certificação de SAF e metas vinculativas criam um ambiente incerto por parte dos operadores aéreos para o investimento a longo prazo.

Respondendo ao terceiro objetivo de avaliar o impacto das estratégias de sustentabilidade da Emirates e da DHL no progresso para a meta de zero emissões de carbono até 2050, tornou-se importante usar ferramentas de gestão como a análise SWOT e PESTEL, para um resultado mais coerente e fidedigno, que tornaram possível compreender não só os resultados diretos das ações implementadas, como também o contexto mais amplo em que estas se inserem. A análise SWOT revelou que a DHL apresenta forças claras, como uma cadeia logística já parcialmente eletrificada e investimentos contínuos em inovação verde. Já a Emirates apresenta oportunidades como a modernização da sua frota com aeronaves mais eficientes, embora ainda apresente fraquezas relativamente à aplicação prática de soluções mais amplas. Paralelamente, a análise PESTEL evidenciou que tanto a Emirates como a DHL inserem as suas operações num ambiente altamente influenciado por fatores políticos e legais, como a regulamentação internacional da ICAO e da IATA, e pelas pressões económicas associadas aos custos do SAF e outras tecnologias limpas. Por exemplo, enquanto a DHL beneficia de políticas de incentivo ambiental da União Europeia, a Emirates enfrenta maiores desafios por operar num contexto regulatório, em termos de exigência ambiental, muito limitado. Resumidamente, o impacto das estratégias de sustentabilidade adotadas pelas duas empresas, pode ser considerado moderado a positivo, visto que ambas revelam esforços, a velocidades diferentes, para atingir as zero emissões de carbono até 2050.

Respondendo ao objetivo final proposto neste TFM, relativamente a delinear boas práticas baseadas nas lições aprendidas, foi possível delinear e sugerir, sucintamente, as seguintes boas práticas: integrar critérios ambientais na seleção e gestão de

fornecedores, como adicionar cláusulas ambientais nos seus contratos com fornecedores, exigindo o cumprimento de padrões claros. Esta prática não só reduz as emissões emitidas durante toda a cadeia de valor, como também fortalece a reputação e a resiliência das empresas face a futuras exigências regulatórias; descarbonização dos equipamentos para uso em operações terrestres, que se revela bastante importante e com resultados já visíveis por parte da DHL, mas que merece uma maior atenção por parte da Emirates; estabelecer acordos com produtores de combustíveis sustentáveis, garantindo acesso a SAF e promovendo a sua escala industrial; uma maior transparência nos relatórios anuais das companhias relativamente a projetos de sustentabilidade reforçando assim a confiança junto de investidores e clientes; e estudar a inovação tecnológica e testes, como eletricidade, através da criação de infraestruturas dedicadas ao mesmo.

Com estes pontos, é possível fazer uma análise crítica sobre o tema. Apesar dos esforços e avanços já realizados, torna-se evidente concluir que o caminho até 2050, ainda é bastante desafiante. O setor aéreo depende de fatores externos como evolução tecnológica, políticas governamentais e criação de infraestrutura preparadas para o que o futuro trará. No entanto, é evidente que existe um risco real de que, sem incentivos regulatórios adequados e realistas, a adoção de práticas sustentáveis revelar-se-á lenta ou desigual entre as diferentes regiões. Por outro lado, a crescente valorização da sustentabilidade pelos consumidores e investidores tende a acelerar a transição, especialmente entre empresas com visão de longo prazo. Além disso, este TFM revelou que, mais do que uma obrigação regulatória, a sustentabilidade representa uma oportunidade estratégica de diferenciação e eficiência entre operadores aéreos, pelo que as empresas que conseguirem alinhar objetivos ambientais com rentabilidade e inovação tendem a liderar o setor aéreo no futuro.

Em síntese, os resultados obtidos ao longo deste TFM confirmam que a descarbonização do setor da aviação, embora seja um tema ainda bastante complexo, é exequível através da adoção equilibrada de estratégias sustentáveis, alinhadas com os compromissos internacionais para a neutralidade carbónica. A análise das práticas implementadas pela DHL e pela Emirates permitiu identificar diferentes formas de encarar o assunto, mas que se revelam complementares, no sentido em que, embora sejam duas companhias

aéreas que atuam em diferentes públicos, carga e passageiros, revelam que tanto uma como a outras podem procurar aplicar esforços nas mesmas oportunidades de desenvolvimento sustentável. Assim, este estudo não só contribui para a compreensão crítica das dinâmicas atuais do setor aéreo, como também reforça a importância de decisões fundamentadas e estratégicas, capazes de moldar um futuro mais eficiente, equitativo e ambientalmente responsável para a aviação global.

5.2 LIMITAÇÕES AO ESTUDO

Este estudo apresenta um conjunto de contribuições relevantes para a compreensão dos desafios enfrentados pelas companhias aéreas no objetivo da transição para a neutralidade carbónica, até 2050. Contudo, importa reconhecer algumas limitações que condicionam a profundidade dos resultados obtidos.

Em primeiro lugar, a escolha de basear a análise deste tema a apenas dois estudos de caso — Emirates e DHL — embora tivesse permitido uma abordagem aprofundada e comparativa, reduz a representatividade do setor no seu todo. A especificidade operacional e geográfica destas empresas, nomeadamente o facto de operarem em contextos económicos e regulatórios distintos (Médio Oriente e Europa), limita a extrapolação direta dos resultados para outros operadores que apresentam realidades diferentes.

Em segundo lugar, a investigação baseou-se essencialmente em dados secundários, como relatórios de sustentabilidade, literatura técnica e relatórios oficiais. A ausência de entrevistas públicas, como de gestores das empresas analisadas, constitui uma limitação relevante, pois impossibilita a recolha de conclusões diretas e atualizadas sobre os desafios enfrentados e as estratégias em desenvolvimento das empresas em estudo.

Acresce ainda que a avaliação do impacto das tecnologias emergentes (como a energia elétrica e o hidrogénio) foi realizada com base em projeções e estudos exploratórios, carecendo de validação mais fidedigna, dado o estado muito escasso da sua implementação prática.

Por fim, a rápida evolução da regulamentação internacional e das políticas públicas associadas à descarbonização do setor pode, a curto prazo, tornar obsoletos alguns dos dados utilizados nesta análise.

5.3 INVESTIGAÇÃO FUTURA

Com base nas limitações identificadas neste estudo e tendo em conta a evolução do setor do transporte aéreo de carga, especialmente no contexto do objetivo NET ZERO 2050, apresentam-se de seguida algumas sugestões para futuras investigações.

Tendo sido uma limitação encontrada, torna-se apropriado investigar como outras empresas, para além da Emirates e DHL, estão a aplicar medidas sustentáveis pode dar uma visão mais abrangente sobre o setor e ajudar a identificar boas práticas que possam ser replicadas.

Seria interessante estudar, de forma mais detalhada, os impactos económicos da adoção de SAF, especialmente para operadores cargueiros. Este tipo de análise poderia ajudar a perceber até que ponto o uso de SAF é viável a longo prazo.

Relativamente a novas tecnologias emergentes, uma vez que estas ainda têm limitações, seria útil perceber se poderiam realmente já ser usadas em voos de curta e média distância, principalmente no transporte de carga.

Desenvolver um modelo com indicadores claros e objetivos que permitissem avaliar o desempenho ambiental das companhias aéreas, permitiria comparar de forma mais prática os avanços sustentáveis entre operadores e acompanhar melhor a sua evolução.

Por fim, seria interessante analisar como os aeroportos estão na prática a adaptar-se (por exemplo, com abastecimento de SAF, infraestrutura elétrica ou sistemas de hidrogénio) com o intuito de perceber se estão preparados para apoiar a transição energética das companhias.

REFERÊNCIAS

- ACI. (2024, Fevereiro 14). *The trusted source for air travel demand updates - Airports Council International*. <https://aci.aero/2024/02/13/the-trusted-source-for-air-travel-demand-updates/>
- Adu-Gyamfi, B. A., & Good, C. (2022). Electric aviation: A review of concepts and enabling technologies. *Transportation Engineering*, 9. <https://doi.org/10.1016/J.TRENG.2022.100134>
- Airbus. (2022). *Future aircraft - On the path towards cleaner, more sustainable flight*. <https://www.airbus.com/en/innovation/disruptive-concepts/disruptive-design/future-%20aircraft>
- Aire, G. (2021, Janeiro 2). *The History of Air Cargo*. <https://www.grandaire.com/news/the-history-of-air-cargo/>
- ANAC. (2015). *Glossário da Aviação Civil - Autoridade Nacional da Aviação Civil*. https://www.anac.pt/SiteCollectionDocuments/Publicacoes/estudos/glossario_da_aviao_civil.pdf
- António, M. (2022). *Manual de Formação Load Control Manual*.
- Baltazar, M. E. da S. (2022). *Air Transport Performance and Global Decision Analysis Aeronautical Engineering*. <https://ubibliorum.ubi.pt/entities/publication/009d7228-11e6-4cc5-9dd5-ffc59f9a0fc7>
- Barbosa, M. (2020, Março 2). *Como nasceu a indústria do transporte aéreo | Super*. <https://super.abril.com.br/especiais/como-nasceu-a-industria-do-transporte-aereo>
- Bravo, G. M., Praliyev, N., & Veress, Á. (2021). Performance analysis of hybrid electric and distributed propulsion system applied on a light aircraft. *Energy*, 214. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2020.118823>
- Brelje, B. J., & Martins, J. R. R. A. (2019). Electric, hybrid, and turboelectric fixed-wing aircraft: A review of concepts, models, and design approaches. *Progress in Aerospace Sciences*, 104. <https://doi.org/10.1016/J.PAEROSCI.2018.06.004>
- Cecere, D., Giacomazzi, E., & Ingenito, A. (2014). A review on hydrogen industrial aerospace applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(20), 10731–10747. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2014.04.126>

- Crouch, T. (2021). *The bishop's boys: a life of Wilbur and Orville Wright*. New York: W.W. Norton. <https://archive.org/details/bishopsboyslifeo0000crou>
- Davies, R. E. G. (2011). *Airlines of the Jet Age: A History*. https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=Y6CIDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT16&dq=first+flight+S%C3%A3o+Pe-tersburgo++Tampa&ots=ucKEqu0OLc&sig=oiKDFqnuKXhIYCTp6gXvmiErPsl&re-dir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Deli, K. (2021, Maio 3). *Impacto da crise da COVID-19 no setor da aviação*. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/O-9-2021-000033_PT.html
- DHL. (2023). *Annual Report*. <https://group.dhl.com/content/dam/deutschepostdhl/en/media-center/investors/documents/annual-reports/DHL-Group-2024-Annual-Report.pdf>
- Ebrahimi, A., Rolt, A., Jafari, S., & Anton, J. H. (2024). A review on liquid hydrogen fuel systems in aircraft applications for gas turbine engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 91, 88–105. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2024.10.121>
- Edwards, P. P., Kuznetsov, V. L., & David, W. I. F. (2007). Hydrogen energy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1853), 1043–1056. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1965>
- Emirates. (2023). *Emirates operates flight with 100% Sustainable Aviation Fuel*. https://www.emirates.com/media-centre/emirates-operates-milestone-demonstration-flight-powered-with-100-sustainable-aviation-fuel/?utm_source=chatgpt.com
- Emirates. (2024). *The Emirates Group Annual Report | 2023-2024*. <https://c.ek-static.net/ecl/documents/annual-report/2023-2024.pdf>
- Epstein, A. H., & O'Flarity, S. M. (2019). Considerations for reducing aviation's CO2 with aircraft electric propulsion. *Journal of Propulsion and Power*, 35(3). <https://doi.org/10.2514/1.B37015>
- Fatela, N. (2022, Janeiro 27). *Uso Da Internet Em Portugal Duplica Na Pandemia*. <https://www.marktest.com/wap/a/n/id~2a15.aspx>
- Favaro, C. (2021, Maio 21). *Na crise, aeronaves viram cargueiros*. <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2021/05/21/na-crise-aeronaves-viram-cargueiros.ghtml>

- Fay, C. M., & Oliveira, G. G. de. (sem data). *Aviação, tecnologia e sociedade: os primeiros voos no Brasil*.
- Fedex. (sem data). *How to mark and label dangerous goods shipments*. Obtido 23 de Maio de 2025, de <https://www.fedex.com/en-gb/shipping-channel/preparing-shipment/dangerous-goods/how-to-label-dangerous-goods.html>
- Fernandes, I. (sem data). *Dangerous Goods*. Obtido 23 de Maio de 2025, de https://www.anac.pt/SiteCollectionDocuments/SSP/7_MERCADORIAS_PERIGO-SAS_IF.pdf
- Fernandes, L. (2021). *A importância do transporte de carga aérea em tempo de pandemia COVID-19 - estudo de caso da emirates na rota LIS-DXB numa aplicação com a PLSR*.
- Hiserote, R. M. (2012). Analysis of Hybrid-Electric Propulsion System Designs for Small Unmanned Aircraft Systems. *AFIT Scholar*. <https://scholar.afil.edu/etd/2044>
- IATA. (2017). *What is SAF?* Obtido 23 de Maio de 2025, de <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-what-is-saf.pdf>
- IATA. (2018). *Sustainable Aviation Fuels Sustainable Aviation Fuels Fact Sheet 5 SAF-SUSTAINABILITY CONSIDERATIONS*. <https://www.iata.org/whatwedo/environment/Pages/sustainable-alternative-jet-fuels.aspx>
- IATA. (2019). *Transporte aéreo de carga começa 2019 com resultados em queda*. <https://www.iata.org/contentassets/01d20c0406594821ae19c6a36e1e7a37/2019-03-07-01-pt.pdf>
- IATA. (2020a). *2019, o pior ano para o transporte aéreo de carga desde 2009*. <https://doi.org/10.3%>
- IATA. (2020b, Novembro 25). *Prejuízo na indústria de aviação segue em 2021*. <https://www.iata.org/contentassets/98e73eed8f0642089447f885fbe06e3b/2020-11-24-01-pt.pdf>
- IATA. (2022, Setembro 7). *What Types of Cargo are Transported by Air?* <https://www.iata.org/en/publications/newsletters/iata-knowledge-hub/what-types-of-cargo-are-transported-by-air/>

- IATA. (2023a, Outubro 3). *La demanda de carga aérea se acelera un 1,5% en agosto, primera subida interanual desde febrero de 2022*. <https://www.iata.org/contentassets/fa1c8d13a50647e08dee4efe21307602/2023-10-03-02-sp.pdf>
- IATA. (2023b). *Air Passenger Market Analysis*. <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-passenger-market-analysis-december-2023/>
- IATA. (2024a). *Our Commitment to Fly Net Zero by 2050*. <https://www.iata.org/en/programs/sustainability/flynetzero/>
- IATA. (2024b). *Net-Zero Carbon Emissions by 2050*. <https://www.iata.org/en/pressroom/pressroom-archive/2021-releases/2021-10-04-03/>
- IATA. (2024c). *Net zero 2050: sustainable aviation fuels*. <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-sustainable-aviation-fuels/>
- IATA. (2024d). *SAF Deployment*. <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-policy-2023.pdf>
- IATA. (2024e). *Aviation is innovation: A peek into future aircraft concepts*. <https://www.iata.org/en/publications/economics/chart-week/29-november-2024/>
- ICAO. (sem data). *The Convention on International Civil Aviation - Annexes 1 to 18*. Obtido 23 de Maio de 2025, de https://www.icao.int/documents/annexes_booklet.pdf
- ICAO. (2011). *Annex 18 - The Safe Transport of Dangerous Goods by Air*. <https://store.icao.int/en/annex-18-the-safe-transport-of-dangerous-goods-by-air>
- ICAO. (2023). *Annual Report of the Council*. https://www.icao.int/about-icao/Annual_Report_2023_EN/AnnualReport2023.html#p=4
- Isikveren, A. T., Kaiser, S., Pornet, C., & Vratny, P. C. (2014). Pre-design strategies and sizing techniques for dual-energy aircraft. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 86(6). <https://doi.org/10.1108/AEAT-08-2014-0122>
- Kharina, A., Rutherford, D., & Zeinali, M. (2016). *Cost assessment of near and mid-term technologies to improve new aircraft fuel efficiency acknowledgment*. https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT%20aircraft%20fuel%20efficiency%20cost%20assessment_final_09272016.pdf
- Kraus, T. L. (2011). *Celebrating 75 Years of Federal Air Traffic Control*. <https://doi.org/10.21949/1503647>

- Lohmann, G. (2010). Climate change and aviation: issues, challenges and solutions. *Current Issues in Tourism*. <https://doi.org/10.1080/13683500903406375>
- Mancuzo, R. (2022, Junho 27). *Embraer vai converter até 10 aeronaves de passageiros em aviões de carga*. <https://olhardigital.com.br/2022/06/27/carros-e-tecnologia/embraer-vai-converter-ate-10-aeronaves-de-passageiros-em-avioes-de-carga/>
- Monteiro, L. (2022, Abril 8). *Turkish Cargo transporta 100 milhões de doses de vacinas*. <https://noticias.r7.com/prisma/luiz-fara-monteiro/turkish-cargo-transporta-100-milhoes-de-doses-de-vacinas-para-o-brasil-08042022/>
- Neto, P. M. de S., & Araújo, S. da S. (sem data). *Transporte Aéreo de cargas: uma análise da evolução da movimentação de cargas aéreas da empresa LATAM Cargo 1*. Obtido 23 de Maio de 2025, de <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/6f520091-b589-49b2-9122-4d8f7b9dc487/content>
- Oliveira, J. A. B. da C. (2008). *A importância da Engenharia de Interiores de Cabina na Manutenção dos Aviões e sua relação com o Serviço ao Passageiro*. <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/3688>
- Oliveira, J. F. (2018). *Impactos da desregulamentação no setor aéreo: Um estudo sobre competição e acessibilidade* [Dissertação de Mestrado].
- Oum, T. H., & Zhang, A. (2010). Air Transport Liberalization and Its Impacts on Airline Competition and Air Passenger Traffic. *Transportation Journal*, 49. <https://doi.org/10.2307/40904912>
- OWD. (2021). *Air passengers, 1970 to 2021 - Our World in Data*. https://ourworldindata.org/grapher/air-passengers-carried?tab=chart&country=European+Union~OWID_WRL
- Ribeiro, T. M. (2021). *A crise da aviação comercial durante a pandemia de COVID-19*. [Dissertação de Mestrado].
- Sammut-Bonnici, T. (2017). *SWOT Analysis*. <https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom120103>
- Santos, I. (2023, Maio 5). *Covid-19. OMS declara o fim da emergência global*. https://www.rtp.pt/noticias/mundo/covid-19-oms-declara-o-fim-da-emergencia-global_n1484325

- Shadidi, B., Najafi, G., & Yusaf, T. (2021). A review of hydrogen as a fuel in internal combustion engines. Em *Energies* (Vol. 14, Número 19). MDPI. <https://doi.org/10.3390/en14196209>
- Silva, M. A. (2019). *Crescimento e desafios do transporte aéreo global* [Dissertação de Mestrado].
- Statista. (2023). *Global air cargo capacity share between January 2020 and July 2021, by aircraft type*. <https://www.statista.com/statistics/1170554/air-cargo-capacity-share-aircraft-type-worldwide/>
- Subbarao, S. S. V., & Kadali, R. (2022). Impact of COVID-19 pandemic lockdown on the public transportation system and strategic plans to improve PT ridership: a review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/S41062-021-00693-9>
- Vasconcelos, Y. (2020, Maio 15). *O colapso do setor aéreo*. <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-colapso-do-setor-aereo/>
- WEF. (2021). *Europe's airlines take to skies again but don't expect a return to 'normal'* - *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/stories/2021/10/europe-airlines-covid19-pandemic/>
- Yusaf, T., Faisal Mahamude, A. S., Kadirgama, K., Ramasamy, D., Farhana, K., A. Dhahad, H., & Abu Talib, A. R. (2024). Sustainable hydrogen energy in aviation – A narrative review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 52, 1026–1045. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2023.02.086>
- Yusaf, T., Fernandes, L., Talib, A. R. A., Altarazi, Y. S. M., Alrefae, W., Kadirgama, K., Ramasamy, D., Jayasuriya, A., Brown, G., Mamat, R., Dhahad, H. Al, Benedict, F., & Laimon, M. (2022). Sustainable Aviation—Hydrogen Is the Future. Em *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 14, Número 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su14010548>
- Yusop, Z. B. M. (2018). *Pestel Analysis*. <https://www.researchgate.net/publication/341190360>