



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
MATHEUS GRAEBIN

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS ESPECÍFICOS QUE
CONTRIBUEM PARA A ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL NA
AVIAÇÃO COMERCIAL BRASILEIRA**

PALHOÇA
2021

MATHEUS GRAEBIN

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS ESPECÍFICOS QUE
CONTRIBUEM PARA A ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL NA
AVIAÇÃO COMERCIAL BRASILEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Aeronáuticas da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas.

Orientador: Prof. MSc. Angelo Damigo Tavares

PALHOÇA

2021

MATHEUS GRAEBIN

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS ESPECÍFICOS QUE CONTRIBUEM PARA A
ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL NA AVIAÇÃO COMERCIAL BRASILEIRA**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas e aprovada em sua forma final pelo Curso de Ciências Aeronáuticas da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 10 de junho de 2021.

Orientador: Prof. MSc. Angelo Damigo Tavares
Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL

Prof. MSc. Cleo Marcus Garcia
Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa, à minha filha, aos meus pais e irmãos pela parceria, compreensão e apoio durante minha jornada acadêmica.

Agradeço a todo o corpo docente da UNISUL, e em especial ao Professor Orientador Msc. Angelo Damigo Tavares pela excelente orientação, pela disposição e dedicação durante todo o processo de elaboração deste trabalho. Agradeço à instituição UNISUL e a seus funcionários que, de alguma forma, participaram desta jornada.

Agradeço a todos aqueles que disponibilizaram seu precioso tempo para o fornecimento de dados e materiais que foram importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que participaram de mais esta etapa concluída em minha vida.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo entender como os procedimentos operacionais praticados atualmente nas companhias aéreas brasileiras contribuem para a sustentabilidade econômica dessas empresas, colaborando para a redução do consumo de combustível. Baseou-se em uma pesquisa exploratória com procedimentos bibliográficos, documentais e com abordagem quantitativa. Esta pesquisa demonstrou de que forma é feita a precificação do querosene de aviação no Brasil, combustível que é utilizado nas aeronaves da aviação comercial, e qual o impacto financeiro que esse insumo representa para as empresas aéreas. Detalhou os procedimentos operacionais adotados por tais empresas, visando reduzir o consumo de combustível, a forma como esses procedimentos são aplicados e quais as vantagens que cada um deles proporciona para a operação. Apresentou, ainda, novas tecnologias que poderão contribuir ainda mais para a eficiência das operações, oportunizando para essas empresas uma gama ainda maior de meios para a redução do consumo de combustível. Ao concluir-se esta pesquisa, verificou-se a importância da aplicação de tais procedimentos na rotina das empresas aéreas e que, juntamente com a utilização de novas tecnologias, representam uma operação mais viável economicamente e mais sustentável no aspecto ambiental.

Palavras-chave: Procedimentos operacionais. Querosene de aviação. Eficiência das operações. Empresas aéreas. Consumo de combustível.

ABSTRACT

This study aimed to understand how the operational procedures currently practiced by Brazilian airlines contribute to the economic sustainability of these companies, contributing to reducing fuel consumption. It was based on exploratory research with bibliographic, documentary procedures and a quantitative approach. This research demonstrated how aviation kerosene is priced in Brazil, which is the fuel used in commercial aviation aircraft, and what is the financial impact this input represents for airlines. The operational procedures adopted to reduce fuel consumption, the way these procedures are applied and what are the advantages that each one of them provides for the operation are detailed. It also presents new technologies that may contribute even more to operational efficiency, providing these companies with an even greater range of means to reduce fuel consumption. At the end of this research, it was verified the importance of airlines to apply such procedures to their practice, wich together with the use of new technologies, are more economically viable and more sustainable from the environmental standpoint.

Keywords: Operational procedures. Aviation kerosene. Operational efficiency. Airlines. Fuel consumption.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Posição do flape na decolagem	25
Figura 2 – Posição do flape no pouso.....	27
Figura 3 – Posição dos manetes de potência x empuxo gerado.....	29
Figura 4 – Reversor do tipo cascata	29
Figura 5 – Relação custos de operação x velocidade da aeronave	32
Figura 6 – APU <i>Airbus A320</i>	33
Figura 7 – Esquematização de sistema pneumático de um avião.....	35
Figura 8 – Métodos de navegação aérea.....	39
Figura 9 – Subida e descida contínuas	40
Figura 10 – <i>Point merge system</i>	41
Figura 11 – <i>Taxibot</i>	42
Figura 12 – <i>Electric greener taxiing system</i>	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Composição dos custos das empresas aéreas	13
Gráfico 2 – Composição do preço do QAV-1 – Mercado Doméstico.....	18
Gráfico 3 – Tempo de táxi após o pouso – <i>taxi-in</i>	21
Gráfico 4 – Tempo de táxi antes da decolagem – <i>taxi-out</i>	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Preço médio do querosene de aviação ao consumidor	19
Tabela 2 – Consumo de combustível por tipo de aeronave	22
Tabela 3 – Tipo de aproximação x combustível consumido	28
Tabela 4 – Tipo aeronave x quantidade combustível economizada	30
Tabela 5 – Potencial de economia	32
Tabela 6 – Consumo da APU conforme tipo de aeronave	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEAR	Associação Brasileira das Empresas Aéreas
ACU	<i>Air Cooling Unit</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo
APU	<i>Auxiliary Power Unit</i>
CCO	<i>Continuous Climb Operation</i>
CDO	<i>Continuous Descent Operation</i>
CF	<i>Cost of Fuel</i>
CFIT	<i>Controlled Flight Into Terrain</i>
CI	<i>Cost Index</i>
CO ₂	Dióxido de Carbono
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CONF	<i>Configuration</i>
CRCEA-SE	Centro Regional de Controle do Espaço Aéreo-Sudeste
CT	<i>Cost of Time</i>
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EASA	<i>European Aviation Safety Agency</i>
EGTS	<i>Electric Green Taxiing System</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
GPU	<i>Ground Power Unit</i>
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
MEL	<i>Minimum Equipment List</i>
MRC	<i>Maximum Range Cruise</i>
NEO	<i>New Engine Option</i>
NG	<i>Next Generation</i>
NOx	Óxido de Nitrogênio
OACI	Organização de Aviação Civil Internacional

PBN	<i>Performance-Based Navigation</i>
PCA	<i>Preconditioned Air</i>
PIS	Programa de Integração Social
PPI	Preço de Paridade de Importação
QAV1	Querosene de Aviação
RBHA	Regulamentos Brasileiros de Homologação Aeronáutica
RNAV	<i>Area Navigation.</i>
RNP	<i>Required Navigation Performance.</i>
SETWA	<i>Single Engine Taxi Without APU</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 METODOLOGIA.....	16
1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa	16
1.4.2 Materiais e métodos	16
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 PRECIFICAÇÃO DO QAV-1 NO BRASIL	18
3 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS QUE REDUZEM O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	20
3.1 TÁXI MONOMOTOR (<i>SINGLE ENGINE TAXI</i>).....	20
3.1.1 Limitações operacionais na condição de <i>single engine taxi-out</i>	22
3.1.2 Limitações operacionais na condição de <i>single engine taxi-in</i>	23
3.2 OPERAÇÃO COM FLAPES REDUZIDOS	24
3.2.1 Uso de flape reduzido na decolagem	25
3.2.2 Uso de flape reduzido no pouso	26
3.3 POUSO COM USO DOS REVERSORES EM MARCHA LENTA.....	28
3.4 ÍNDICE DE CUSTO	31
3.5 UNIDADE DE FORÇA AUXILIAR.....	32
3.6 DECOLAGEM COM SANGRIA DE AR DESLIGADA (<i>BLEEDS OFF</i>)	34
4 NOVAS TECNOLOGIAS	36
4.1 NOVA GERAÇÃO DE AERONAVES.....	36
4.2 NOVAS TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO	37
4.2.1 Sistema de navegação baseado em performance	38
4.2.2 Operação de subida e descida contínua	39
4.2.3 <i>Point merge system</i>	40
4.3 TAXIAMENTO SEMIAUTÔNOMO E AUTÔNOMO	41
4.3.1 Taxiamento semiautônomo	41

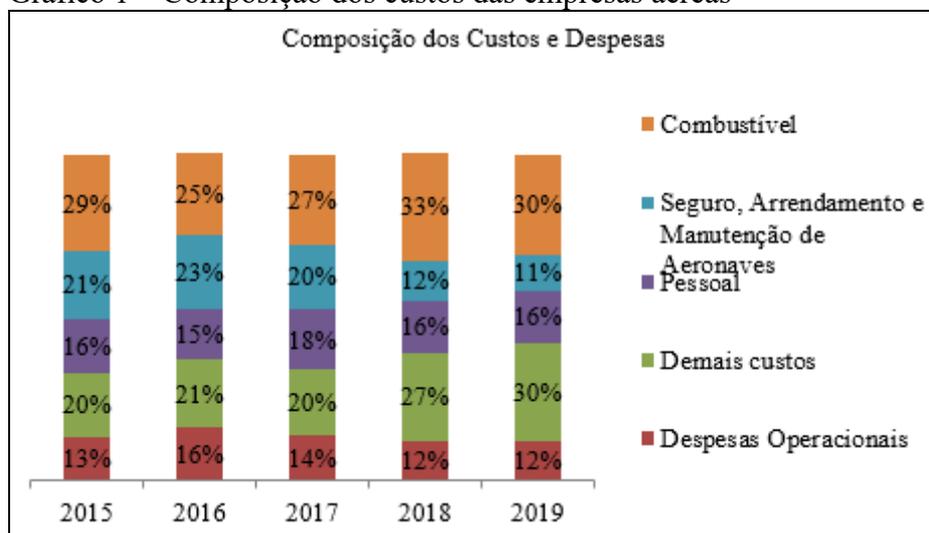
4.3.2 Taxiamento autônomo.....	42
5 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Em um mercado muito concorrido, com alto custo operacional, sensível às oscilações econômicas mundiais e com grande maioria de seus custos operacionais atrelados ao dólar, é premente a busca por alternativas viáveis para reduzir custos operacionais.¹ Nesse sentido, observa-se que a aviação comercial brasileira segue esse caminho, em busca de tornar-se cada vez mais eficiente economicamente e fazer frente aos desafios do mercado.

Um dos custos que têm sido amplamente combatidos pelas empresas aéreas brasileiras é o gasto com combustível. O querosene de aviação, também conhecido pela sigla QAV-1, é o combustível utilizado nos motores das aeronaves comerciais brasileiras. Esse combustível é produzido através do fracionamento do petróleo por meio de destilação à pressão atmosférica, seguido de tratamentos e acabamentos. (BR DISTRIBUIDORA, c2014). O QAV-1 tem parcela importante na composição dos custos das empresas aéreas. De acordo com os dados da Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC), os custos das empresas aéreas com combustível atingiram 30% em 2019 (ANAC, 2020a), conforme demonstra o Gráfico 1, a seguir.

Gráfico 1 – Composição dos custos das empresas aéreas



Fonte: o autor, adaptado de ANAC (2020a).

Segundo a Associação Brasileira das Empresas Aéreas (ABEAR), “os preços desse insumo no Brasil estão entre os mais altos do mundo, especialmente no setor doméstico”. (ABEAR, 2019, p. 59). Dessa forma, as empresas aéreas buscam, juntamente

¹ Custos diretamente relacionados com a atividade aérea, tais como: tarifas aeroportuárias, gastos com pessoal, *leasing* de aeronaves, impostos, manutenção e gastos com combustível.

com as fabricantes de aeronaves e em conjunto com as administradoras aeroportuárias e órgãos reguladores, viabilizar meios para que seja possível a redução do consumo de combustível das aeronaves sem impactar nas operações.

Diante desse cenário, as empresas aéreas têm adotado procedimentos cujo objetivo é a redução do consumo de combustível. Alguns deles são executados durante a operação no solo, como o uso de geradores externos ao invés do uso da unidade auxiliar de força² (APU) e taxi monomotor, quando a estrutura do aeroporto permite. Outros procedimentos são adotados durante o voo, como a seleção do melhor índice de custos para o voo, seleção reduzida de flape para a aproximação e pouso e o uso de reversores em *idle*³ após o toque na pista, durante o pouso.

Assim, neste trabalho, serão detalhados os procedimentos utilizados atualmente pelas empresas aéreas e quais vantagens econômicas eles geram, assim como qual a particularidade de cada procedimento em termos operacionais e de economia de combustível. Será também demonstrado o que se desenvolve em termos de novas tecnologias, como o *pushback*⁴ e o *taxiamento* autônomo e semiautônomo, os quais permitem à aeronave ser empurrada para trás e taxiar sem a necessidade do uso dos motores. Tais procedimentos, aliados à nova geração de aeronaves, juntamente com novos métodos de navegação e novas técnicas de gerenciamento de tráfego aéreo, reduzem o tempo de voo e aumentam a eficiência das operações.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Como os procedimentos operacionais praticados atualmente nas companhias aéreas brasileiras têm contribuído para a sustentabilidade econômica dessas empresas?

² Unidade auxiliar de força que permite que a aeronave opere de forma autônoma sem depender de equipamentos de solo, no caso, uma fonte externa de energia.

³ Reversores em IDLE (marcha lenta): forma de operação que consiste na não utilização desse auxílio de frenagem da aeronave durante pouso.

⁴ Pushback: manobra realizada em solo com auxílio de trator que consiste em empurrar a aeronave que está estacionada para trás.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Entender de que forma os procedimentos operacionais praticados atualmente nas companhias aéreas brasileiras têm contribuído para a sustentabilidade econômica dessas empresas.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar a composição do preço do querosene de aviação no Brasil.
- b) Identificar os procedimentos adotados pelas empresas aéreas brasileiras que visam reduzir o consumo de combustível das aeronaves, tanto durante as operações aéreas quanto nas operações terrestres.
- c) Determinar o ganho operacional que cada procedimento proporciona em termos de quantidade de combustível economizada.
- d) Apresentar novas tecnologias desenvolvidas no mercado da aviação e que buscam aumentar ainda mais a eficiência das operações aéreas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A aviação comercial brasileira passou por muitas transformações na última década. O mercado tornou-se mais competitivo, a demanda por viagens aéreas aumentou, algumas empresas fecharam as portas, outras surgiram e continuam até hoje e outras surgiram e já fecharam suas portas por inúmeros motivos, a grande maioria devido ao cenário econômico muito dinâmico, planejamento estratégico inadequado e gerenciamento ineficiente.

Com o passar dos anos, na esteira do avanço tecnológico, as fabricantes de aeronaves conseguiram, por meio de *softwares*, gráficos e ensaios, mensurar o consumo de combustível em cada fase do voo. De posse desses dados, criaram uma série de procedimentos operacionais com o objetivo de reduzir o consumo de combustível das aeronaves. Tais procedimentos, por menor retorno econômico que possam representar, têm por objetivo evitar o consumo desnecessário de combustível durante as operações.

Um procedimento utilizado isoladamente talvez não represente um ganho econômico muito expressivo e nem justifique sua aplicação, porém, no momento em que são totalizadas as vantagens operacionais geradas por cada um deles, em diferentes fases do voo, pode-se obter reduções consideráveis no consumo de combustível, principalmente quando o cálculo é feito sobre o número total de voos que cada empresa opera anualmente. Sendo assim, esta monografia tem a intenção de demonstrar a importância que cada procedimento tem em relação à redução do consumo de combustível e de que forma cada procedimento é empregado, juntamente com a contribuição que esses procedimentos proporcionam para o meio ambiente ao se reduzir a emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera.

Este tema despertou o interesse deste autor por ser atual, estratégico e de relevância para a sustentabilidade econômica das empresas aéreas no longo prazo. Diante de um cenário econômico imprevisível, faz-se necessário que as empresas atuem de forma a adequar as suas operações, buscando a eficiência financeira, reduzindo custos, tornando-se mais rentáveis, competitivas e, assim, atraindo mais investimentos.

1.4 METODOLOGIA

1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa

O presente trabalho teve como guia a pesquisa exploratória com procedimentos bibliográficos, documentais e com abordagem quantitativa. A pesquisa exploratória detalhou e buscou mais informações a respeito dos procedimentos adotados pelas empresas aéreas que têm a finalidade de reduzir o consumo de combustível.

Os procedimentos utilizados foram o bibliográfico e o documental. Coletaram-se dados por meio de livros, jornais, entrevistas, manuais, leis, regulamentos, revistas e através de meios eletrônicos.

1.4.2 Materiais e métodos

Os materiais que nortearam este estudo foram os seguintes:

- Bibliográficos: livros relacionados à aviação; manuais de aeronaves que descrevem os procedimentos; *sites* especializados; reportagens e jornais.

- Documentais: documentos e legislações de agências reguladoras referentes ao tema proposto; documentos das administradoras aeroportuárias; dados da produção do combustível; e dados estatísticos das empresas aéreas. São eles:
 - dados estatísticos referentes ao mercado da aviação brasileira (ANAC, 2020a; 2020b);
 - dados estatísticos referentes às empresas aéreas (ABEAR, 2019);
 - dados operacionais de administradores aeroportuários;
 - tabelas de precificação do combustível;
 - Regulamentos Brasileiros de Homologação Aeronáutica (RBHA).

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho estrutura-se da seguinte forma:

No capítulo 1, apresenta-se a introdução, em que se discorre a respeito da influência do QAV-1 nos custos das empresas e de que forma elas estão lidando para reduzir tal custo e tornarem-se mais eficientes. Também nesse capítulo tem-se o problema do estudo, os objetivos, a justificativa e a metodologia utilizada.

No capítulo 2, inicia-se a fundamentação teórica, em que se abordam a precificação do querosene de aviação no Brasil.

No capítulo 3, exemplificam-se os procedimentos utilizados pelas empresas aéreas no que tange à economia de combustível.

No capítulo 4, apresentam-se as novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas pela indústria aeronáutica, as quais visam ampliar ainda mais o aspecto da eficácia operacional, reduzindo o consumo de combustível, proporcionando menor impacto ambiental e tornando o transporte aéreo ainda mais eficiente.

Por fim, o trabalho prossegue-se com a conclusão, seguida pelas referências.

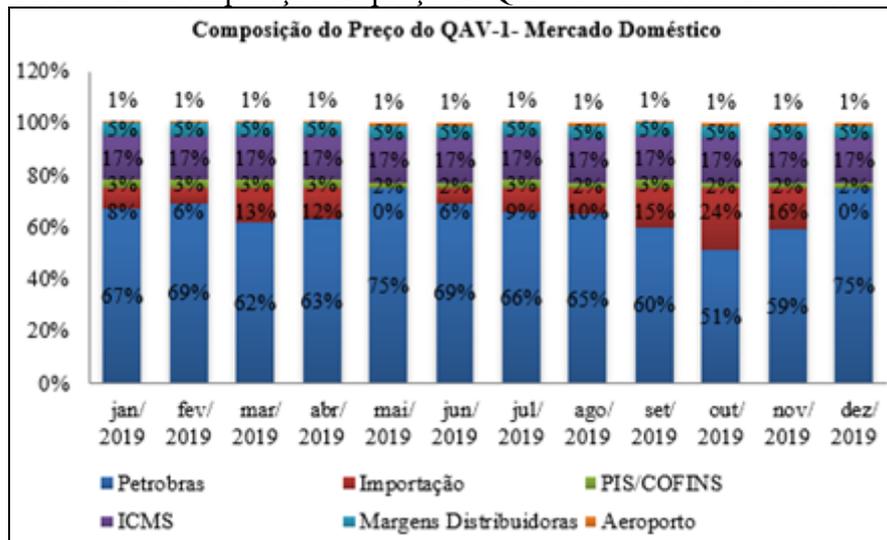
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PRECIFICAÇÃO DO QAV-1 NO BRASIL

O preço do querosene de aviação no Brasil é composto por tributos federais – a Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e o Programa de Integração Social (PIS) – e pelo tributo estadual denominado Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Além dos impostos, o QAV-1 é constituído pelas margens do fabricante, distribuidores e do aeroporto.

O custo com a importação do petróleo é outro fator que influi no preço do QAV-1 no Brasil. O método adotado pela Petrobras para a precificação desse combustível embute custos com sua importação, sendo que a empresa importa somente 8% do QAV-1 utilizado no Brasil; os outros 92% são produzidos no país e cobrados como se tivessem sido importados. (VERDÉLIO, 2018). Essa forma de precificação é conhecida como Preço de Paridade de Importação (PPI) e baseia-se em que o preço de refinaria deve ser o preço do ponto vendedor de referência da região; no caso do Brasil, o preço de Houston, nos Estados Unidos (ABEAR, 2019). A seguir, o Gráfico 2 demonstra a composição do preço do QAV-1 no Brasil.

Gráfico 2 – Composição do preço do QAV-1 – Mercado Doméstico



Fonte: ABEAR (2019).

A deficiência na distribuição do QAV-1 é também um dos fatores que acarretam a elevação do preço desse insumo, sendo os aeroportos de Guarulhos-SP e do Galeão-RJ os

únicos aeroportos brasileiros que possuem dutos para o transporte desse insumo entre o fornecedor e os aeroportos. (ABEAR, 2019).

Na Tabela 1, a seguir, pode-se perceber a evolução do preço do QAV-1 no Brasil, entre os anos de 2010 e 2019, e a variação entre diferentes estados brasileiros. O ICMS é o que mais impacta no valor do litro do QAV-1, chegando a 17%. De acordo com a Constituição Federal. (BRASIL, 1988), cada estado tem a autonomia de definir a alíquota de ICMS que irá incidir sobre o combustível. Frente a isso, as empresas aéreas adotam como estratégia para redução nos custos o *tankering fuel*, que consiste em abastecer as aeronaves com uma quantidade maior de combustível do que o necessário para aquele voo nas localidades onde o QAV-1 é mais barato, diminuindo-se assim a quantidade de combustível necessária para o reabastecimento em aeródromos onde o combustível é mais caro. (CORRÊA, 2013). A seguir, a Tabela 1 apresenta o preço médio do querosene de aviação ao consumidor.

Tabela 1 – Preço médio do querosene de aviação ao consumidor

Municípios selecionados	Preço médio do querosene de aviação ao consumidor (R\$/litro)									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Belém	1,303	1,632	1,898	2,007	2,092	1,736	1,715	2,112	2,705	2,381
Belo Horizonte	1,639	1,952	2,109	2,498	2,553	2,444	2,367	2,288	2,924	2,944
Brasília	1,426	1,753	2,044	2,148	2,236	1,909	1,705	1,891	2,469	2,444
Curitiba	1,319	1,647	1,912	2,019	2,112	1,796	1,545	1,735	2,395	2,426
Fortaleza	1,289	1,611	1,884	2,012	2,069	1,809	1,602	1,787	2,415	2,404
Manaus	1,375	1,721	2,003	2,195	2,238	1,884	1,653	1,830	2,500	2,476
Porto Alegre	1,308	1,645	1,917	2,035	2,139	1,813	1,585	1,731	2,367	2,422
Recife	1,317	1,613	1,888	1,990	2,088	1,710	1,508	1,691	2,312	2,297
Rio de Janeiro	1,260	1,591	1,869	1,982	2,067	1,731	1,537	1,730	2,351	2,377
Salvador	1,282	1,608	1,888	1,997	2,111	1,759	1,565	1,740	2,425	2,424
São Paulo	1,257	1,585	1,865	1,983	2,082	1,768	1,541	1,743	2,338	2,386

Fonte: Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2020).

3 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS QUE REDUZEM O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

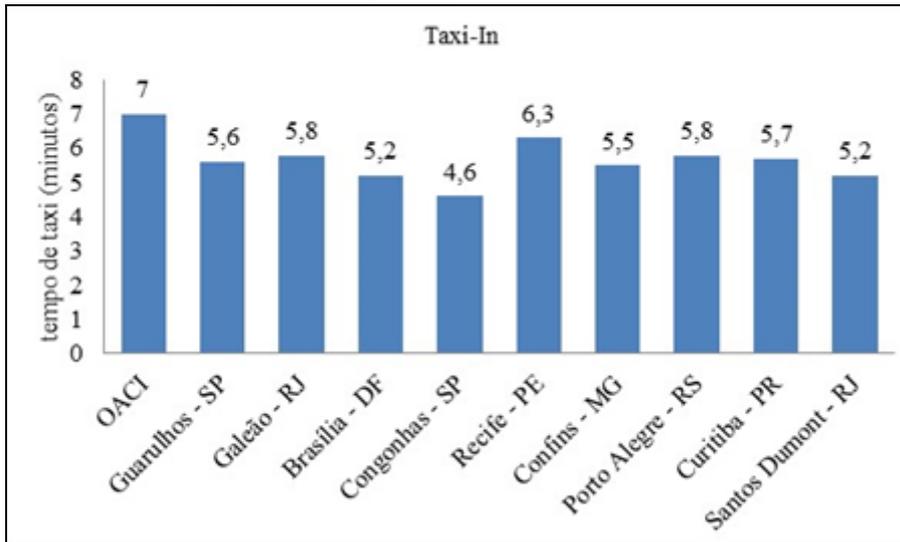
Neste capítulo, serão abordados os procedimentos que visam aumentar a eficiência das operações aéreas no que tange ao consumo de combustível. Esses procedimentos têm a finalidade de reduzir os custos das empresas por meio da diminuição do consumo de combustível nas diversas fases do voo. Proporcionam, ainda, redução nos custos de manutenção e menor emissão de gases poluentes na atmosfera.

3.1 TÁXI MONOMOTOR (*SINGLE ENGINE TAXI*)

A operação com um motor desligado em aeronaves bimotoras ou com dois motores desligados em aeronaves quadrimotoras é chamada de *single engine taxi* e é dividida em *single engine taxi-in* (chegada, após o pouso) e *single-engine taxi-out* (partida, antes da decolagem). Essa operação visa reduzir a queima de combustível nas operações de taxiamento da aeronave, principalmente em grandes aeroportos, onde as distâncias percorridas entre o terminal de passageiros e a pista são longas. No Brasil, pode-se citar os aeroportos de Guarulhos, Galeão, Brasília e Campinas como os maiores em termos de distância percorrida entre os terminais de passageiros e as pistas de decolagem e pouso.

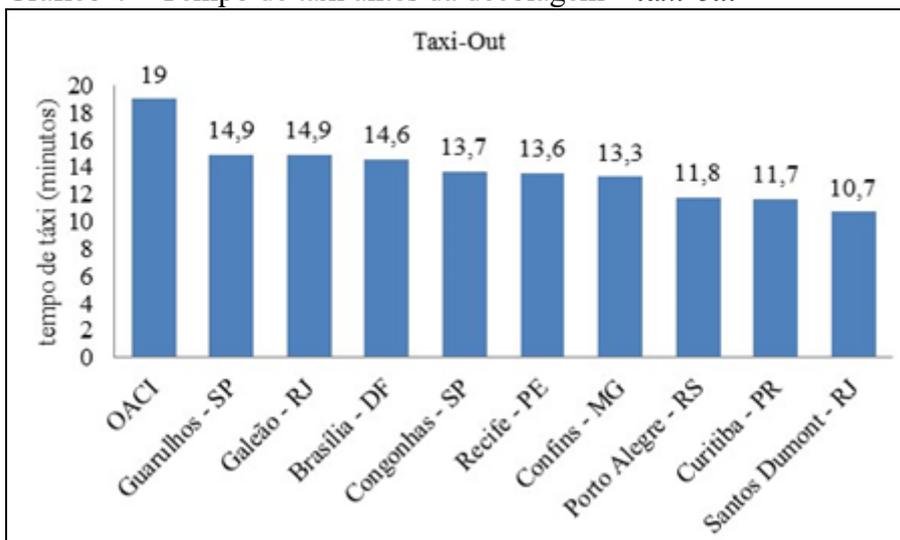
De acordo com o levantamento de dados realizado pela ANAC, pode-se verificar, no Gráfico 3, o tempo que as aeronaves levam para se deslocarem da pista até o terminal de passageiros (*taxi-in*) nos aeródromos nacionais com maior movimento de aeronaves. (ANAC, 2019). No maior aeroporto do Brasil, o de Guarulhos, em São Paulo, o tempo médio de táxi após o pouso é de mais de cinco minutos. O tempo de táxi na chegada muitas vezes pode aumentar caso a aeronave tenha que aguardar a liberação da sua posição de parada no terminal ou manter posição nas *taxiways*,⁵ aguardando a passagem de outras aeronaves que estão se deslocando pelo pátio do aeroporto.

⁵ Taxiway: pavimento do aeroporto, que permite que a aeronave se desloque do terminal ou área de estacionamento até a pista, e vice-versa.

Gráfico 3 – Tempo de táxi após o pouso – *taxi-in*

Fonte: o autor, adaptado de ANAC (2019).

A seguir, no Gráfico 4, pode-se verificar que o *taxi-out* demanda um maior tempo de deslocamento das aeronaves, chegando próximo dos 15 minutos nos três maiores aeroportos brasileiros. Isso ocorre em razão de alguns fatores – tráfego aéreo, que, dependendo do horário, pode ser intenso, condições meteorológicas adversas como chuva forte, vento forte e mudança na direção do vento, que interferem na escolha da pista em uso, muitas vezes sendo necessária a troca de pista – influenciando, assim, no tempo de táxi médio das aeronaves.

Gráfico 4 – Tempo de táxi antes da decolagem – *taxi-out*

Fonte: o autor, adaptado de ANAC (2019).

Com um número de voos no país, que atingiu 804.915 no ano de 2019 (ANAC, 2020b), o que representa aproximadamente 2.205 voos diários, é latente a importância que essa operação tem para a redução dos custos com combustível, conforme sinaliza a Tabela 2, a seguir, em que é possível verificar a economia potencial de combustível com um dos motores desligados, de acordo com o tipo de aeronave.

Tabela 2 – Consumo de combustível por tipo de aeronave

Tipo de Aeronave	Economia (Kg/min)
A320	5
B737	5
E190	4
AT70	2
B777	13

Fonte: o autor, adaptado de Pillirone (2019).

Embora o táxi da aeronave corresponda a uma pequena parcela em termos de tempo em relação ao tempo total de voo, essa operação permite uma redução no consumo de combustível de aproximadamente 20%. Conseqüentemente, reduz a emissão de CO₂ e óxido de nitrogênio (NOx) e contribui para a redução de ruído nas operações diárias. (SESAR DIGITAL ACADEMY, 2021).

O *single engine taxi* exige alguns cuidados para que o motor não sofra danos. Por operar em altas temperaturas, um desligamento repentino, ou aplicação de potência sem ter sido resfriado ou aquecido adequadamente, podem ocasionar danos devido ao choque térmico. Sendo assim, devem ser aplicados dois procedimentos que visam estabelecer a estabilidade térmica do motor. O *cool-down*, que consiste em aguardar três minutos até que o motor possa ser desligado, garante o resfriamento adequado do motor. Por outro lado, o *warm-up* consiste em acionar o motor ao menos dois minutos antes da aplicação da potência de decolagem, garantindo o aquecimento adequado do motor. (AIRBUS, 2019).

3.1.1 Limitações operacionais na condição de *single engine taxi-out*

O *single engine taxi-out* deve ser considerado em toda a operação, entretanto, ele tem algumas limitações que impedem a aplicação desse procedimento. Sendo assim, ele deve ser evitado nas seguintes condições. (AIRBUS, 2019):

- Aeronave tenha sido despachada com algum item MEL⁶ que afete procedimentos operacionais.
- *Taxiways* escorregadias.
- Deslocamento em terreno íngreme.
- Condições de baixa visibilidade.
- Condições que requeiram o uso do *Anti-Ice*⁷.
- APU inoperante.
- Tempo de táxi muito curto.
- O comandante considera que o procedimento impactará na segurança ou a carga de trabalho aumentará demais durante o táxi.
- *Pushback* não disponível em aeroportos com distância e espaço reduzidos onde o *jet blast*⁸ possa causar danos e a aeronave necessite ser movimentada por meios próprios.

Essas limitações têm por objetivo proporcionar uma maior segurança durante a operação. A carga de trabalho no *taxi-out* é mais elevada do que no *taxi-in* devido ao procedimento de acionamento dos motores, que requer uma maior atenção por parte dos pilotos, para que evite-se danos ao motor. Juntam-se a isso as tarefas relacionadas com o táxi, tais como o monitoramento da aérea externa e dos sistemas da aeronave, execução de listas de verificações e comunicação com órgãos de controle de tráfego. (IFALPA, 2016). Caso a tripulação julgue que o procedimento possa interferir na consciência situacional, a critério do comandante, esse procedimento poderá não ser executado.

3.1.2 Limitações operacionais na condição de *single engine taxi-in*

O *single engine taxi-in* deve ser considerado em toda a operação, porém, ele tem algumas diferenças nas limitações operacionais em relação ao *taxi-out*, que impedem a aplicação desse procedimento. Essas diferenças nas limitações ocorrem devido a razões técnicas, como por exemplo, uma emergência após a decolagem, que requeira retorno

⁶ *Minimum Equipment List*: é uma lista de equipamentos mínimos que permite a operação da aeronave, sujeito às condições especificadas, com determinado equipamento inoperante, sem afetar a segurança.

⁷ sistema anti-gelo previne o acúmulo de gelo na aeronave através do aquecimento das superfícies, principalmente das asas e dos motores, é usado também nos tubos de pitot.

⁸ JET BLAST é o rápido movimento do ar provocado pela aceleração dos motores, principalmente durante a decolagem.

imediatamente, condição na qual a aeronave poderá estar com seu peso acima do máximo permitido para o pouso, exigindo então que o taxiamento da aeronave seja realizado com os dois motores acionados.

Outra diferença em relação ao *taxi-out* é que não há restrição nas distâncias de táxi para efetuar o *taxi-in*, sendo que a única restrição que se apresenta é respeitar o procedimento de *cool-down*.

Para manter a segurança operacional das operações, o *single engine taxi-in* deve ser evitado nas seguintes situações (AIRBUS, 2019):

- Peso acima do máximo de pouso e peso bruto elevado.
- *Taxiways* escorregadias.
- Deslocamento em terreno íngreme.
- Condições de baixa visibilidade.
- APU inoperante.
- O comandante considera que a carga de trabalho aumentará demais após o pouso e durante o táxi.

Da mesma forma como ocorre no *single engine taxi-out*, essas limitações operacionais se dão em razão da necessidade da manutenção da segurança operacional, evitando-se a perda da consciência situacional dos pilotos durante o taxiamento da aeronave até o terminal do aeroporto, momento no qual a atenção deve estar voltada para o ambiente externo e para a comunicação entre pilotos e controladores de tráfego aéreo. Distrações durante a realização desse procedimento podem ocasionar interpretações equivocadas das informações transmitidas pelo controle de tráfego aos pilotos, o que pode expor a tripulação a ingressar em *taxiways* não autorizadas e ocasionar até mesmo uma possível condição de colisão com outras aeronaves no pátio.

3.2 OPERAÇÃO COM FLAPES REDUZIDOS

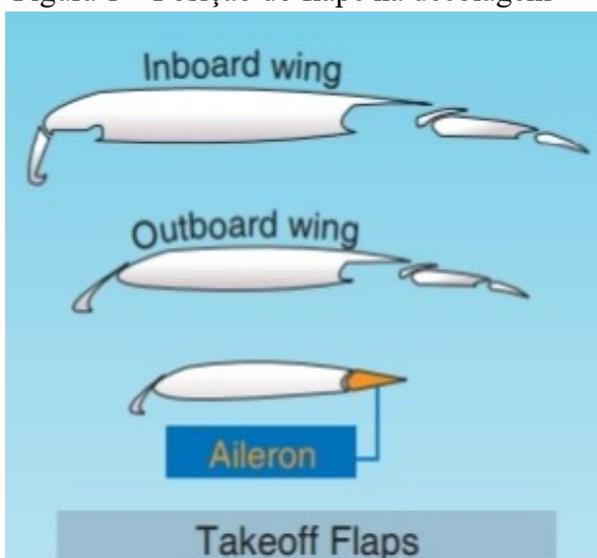
Segundo Homa (2008, p. 29): “Os flapes são dispositivos hipersustentadores que servem para aumentar a curvatura ou arqueamento do perfil da asa, aumentando dessa forma o seu coeficiente de sustentação”. Os flapes, quando estendidos, aumentam a força de sustentação nas asas para pousos e decolagens. (FAA, 2016b). Sendo assim, quanto menor a

configuração dos flapes, menor será o arrasto, e isso resulta em menor quantidade de combustível consumido, por outro lado, uma maior configuração de flapes gera um arrasto maior e uma maior quantidade de combustível será consumida. (ROBERSON; JOHNS, 2008).

3.2.1 Uso de flape reduzido na decolagem

Na decolagem, ajustes de flapes com ângulos menores permitem uma melhor subida, enquanto um ajuste com ângulos maiores resulta em decolagens mais curtas, com menor necessidade de pista. (FARIA, 2019). A seguir, a Figura 1 exemplifica a posição do flape na decolagem.

Figura 1 – Posição do flape na decolagem



Fonte: FAA (2016b).

Para o *Airbus A320*, na potência máxima de decolagem, a configuração intermediária (CONF 2) consome de 3 kg a 5 kg a mais de combustível em relação à configuração mais baixa permissível (CONF 1+F). Já na configuração máxima para decolagem (CONF 3), conforme demonstra o Quadro 1, consome-se de 8 kg a 13 kg a mais que na configuração mínima. (AIRBUS, 2004).

Quadro 1 – Posições de flapes nas aeronaves *Airbus*

Position	SLATS	FLAPS	Indications on ECAM	Flight Phase		
0	0	0		Takeoff	Cruise	Hold
1	18	0	1			
		10	1+F			
2	22	15	2		Landing	Approach
3	22	20	3			
FULL	27	35	FULL			

Fonte: Airbus (2019).

Para o *Boeing 737-800* com *winglets*⁹ e utilizando flape 10, o consumo fica em torno de 8 kg a mais do que usando o flape 5; já utilizando o flape 15, o consumo fica em 10 kg a mais do que se utilizar o mesmo flape 5. (ROBERSON; JOHNS, 2008).

Conforme Saintive (2011, p. 95): “O emprego do flape aumenta os coeficientes de sustentação e de arrasto”. Sendo assim, a operação com flapes reduzidos deve estar de acordo com as características de cada decolagem, com vistas a garantir a segurança da aeronave, uma vez que eles afetam sua performance, interferindo nas velocidades de decolagem, de acordo com comprimento de pista e o peso de decolagem (FAA, 2012).

3.2.2 Uso de flape reduzido no pouso

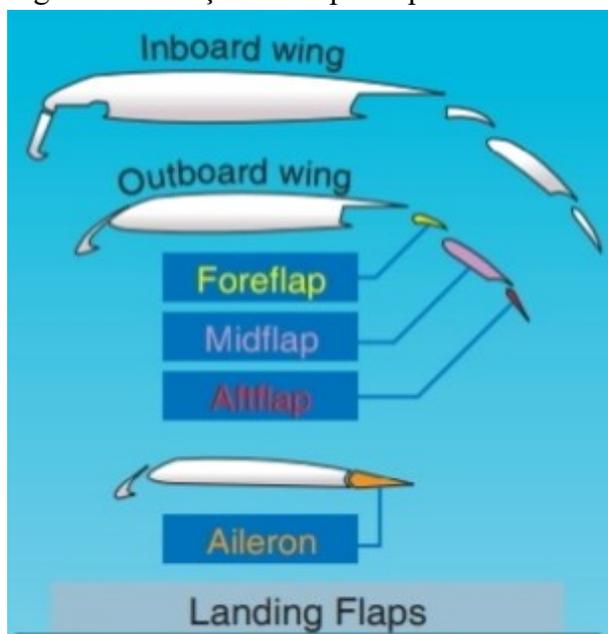
A utilização dos flapes no pouso permite aproximações com velocidades menores. (HOMA, 2008). A aproximação e o pouso com flapes em angulações menores permitem uma maior velocidade da aeronave, um ângulo de ataque menor e, conseqüentemente, menor arrasto, reduzindo-se, assim, o consumo de combustível. Na Figura 2, verifica-se o formato adquirido pela asa conforme a posição de flape aplicada.

A escolha de menores angulações de flapes deve levar em consideração as características da aproximação, comprimento de pista (molhada, contaminada ou seca), temperatura, intensidade e direção do vento, pressão atmosférica e peso da aeronave. Providos de tais informações, os pilotos conseguem fazer a análise da viabilidade do pouso com os flapes reduzidos e se será possível ou não efetuar o pouso com segurança, de acordo com as margens estabelecidas, considerando consumo normal de combustível e óleo durante o voo,

⁹ Winglets: dispositivo vertical instalado na ponta das asas, que tem por finalidade reduzir o arrasto induzido e melhorar a performance das aeronaves.

permitindo um pouso completo dentro de 60% do comprimento efetivo da pista. (ANAC, 2021).

Figura 2 – Posição do flape no pouso



Fonte: FAA (2016b).

As aeronaves *Airbus A320* possuem duas configurações de flapes para o pouso: *CONF3* e *CONF FULL*. A posição de máxima extensão (*CONF FULL*) é a configuração normal de pouso, porém, a posição *CONF 3* pode ser considerada. (AIRBUS, 2019). A configuração flape 3 (*CONF 3*) para o pouso nas aeronaves *Airbus A320* é uma configuração que permite à aeronave realizar a aproximação e o pouso com maior velocidade e menor arrasto. Sendo assim, essa configuração é aerodinamicamente mais eficiente do que aquela em que se usa a configuração de máxima extensão de flapes, e gera uma economia de 8 kg por voo. (AIRBUS, 2008). Além das vantagens no consumo de combustível, o pouso com *CONF 3* permite reduzir o tempo de aproximação e, conseqüentemente, reduz os custos com a remuneração da tripulação. Conforme o *Flight Crew Techniques Manual* (AIRBUS, 2019), quando a performance da aeronave permitir, a melhor combinação para reduzir os custos com combustível e oxidação dos freios é pousar com *CONF 3*, reverso em *idle* e *autobrake* em *low*.

Nas aeronaves *Boeing*, podem ser realizados dois tipos de aproximações: a aproximação padrão (*standard approach*), e a aproximação de flape tardio (*delayed-flaps approach*). (ROBERSON; JOHNS, 2010).

A aproximação padrão consiste em estender o flape final de pouso quando a aeronave interceptar o *glide-slope*¹⁰ do procedimento de pouso que está sendo executado. Na aproximação de flape tardio, a extensão do flape final para pouso é feita a 1000 pés acima da elevação do aeroporto, permitindo, assim, menor consumo de combustível, redução de ruído e menor emissão de gases poluentes na atmosfera. (ROBERSON; JOHNS, 2010).

Tabela 3 – Tipo de aproximação x combustível consumido

Aeronave/motor	Peso de pouso kg	Flape	Procedimento	Combustível consumido kg	Diferença kg
737-800 CFM56-7B24	54,431	30	Padrão	104	
			Tardio	97	7
		40	Padrão	121	
			Tardio	104	17

Fonte: o autor, adaptado de Roberson e Johns (2010).

Na Tabela 4, pode-se verificar o combustível consumido conforme o tipo de aproximação realizada na aeronave 737-800. Utilizando a aproximação que emprega a extensão atrasada de flapes, é possível economizar 7 kg de combustível usando o flape 30. Nessa linha de entendimento, ao se utilizar a configuração com flape 40, é possível economizar 17 kg de QAV-1.

3.3 POUSO COM USO DOS REVERSORES EM MARCHA LENTA

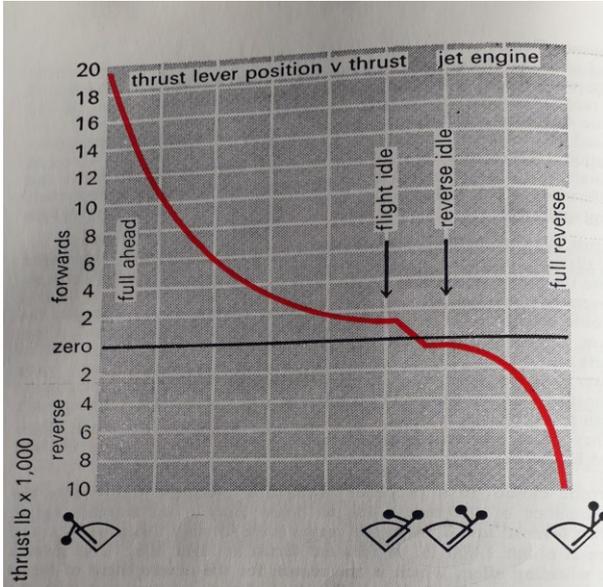
Os reversores de empuxo são dispositivos montados nos motores das aeronaves, que auxiliam na frenagem durante o pouso ou em caso de rejeição de decolagem. Eles promovem mudanças na direção do fluxo dos gases de escapamento e atuam de forma sincronizada com o reversor de descarga dos gases de escapamento do motor, constituindo um sistema único. Os reversores desviam 45° o escoamento dos gases em relação à ação normal de saída. (PALHARINI, 2011).

Os reversores de empuxo possuem dois modos de uso: reverso em marcha lenta – *idle* – e reverso em máximo. Conforme a Figura 3, percebe-se que os reversores em *idle* geram empuxo reverso de aproximadamente 500 lb, atingindo 10.000 lb na posição de

¹⁰ GLIDE-SLOPE: fornece orientação vertical para as aeronaves durante a aproximação e pouso através de sinais eletrônicos, permitindo uma razão de descida, velocidade e potência constantes até atingir a pista.

máximo reverso. (DAVID, 1973). Essa quantidade de potência gera um consumo adicional de combustível, quando na posição de máximo reverso.

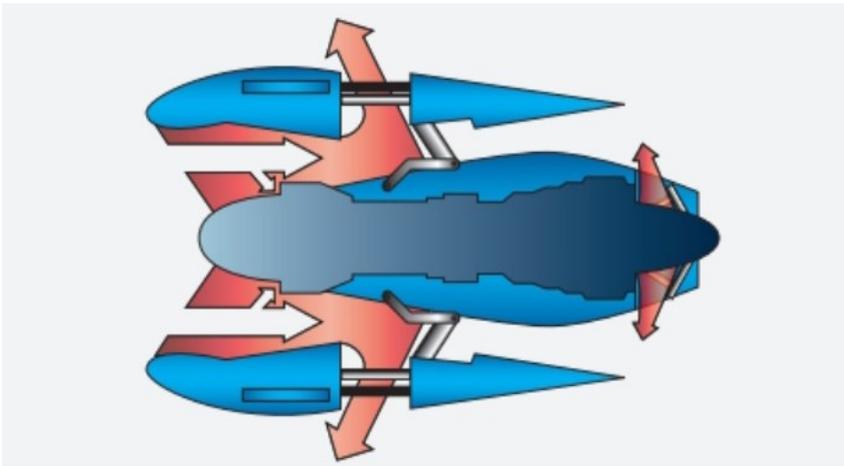
Figura 3 – Posição dos manetes de potência x empuxo gerado



Fonte: David (1973).

Os motores *turbofan*,¹¹ empregados nas aeronaves comerciais, são equipados com reversores do tipo cascata, como pode ser visto na Figura 4, a seguir. Esse tipo de reversor é mais complexo e muitas vezes projetado para reverter somente a porção de ar que passa através do *fan*¹² do motor. (FAA, 2016a).

Figura 4 – Reversor do tipo cascata



Fonte: FAA (2016a).

¹¹ Motor turbofan: tipo de motor a reação cuja turbinas acionam conjuntamente o compressor e um fan.

¹² Fan: ventilador ou ventoinha formada por diversas pás montada na ponta de eixo de um motor turbofan.

A quantidade de combustível economizado também depende do tipo de motor que equipa cada aeronave. (OPEN AIRLINES, 2020a). A seguir, na Tabela 5, pode-se verificar a quantidade aproximada de combustível economizado por voo, com o uso dos reversores em marcha lenta, nas aeronaves operadas por companhias aéreas brasileiras.

Tabela 4 – Tipo aeronave x quantidade combustível economizada

Aeronave	Quantidade QAV1/Voo
A318/319/320/321	10 kg
A319/320/321 NEO	6 kg
A350	25 kg
A738/B738MAX	15 kg
B767	30 kg
B777	35 kg
E190/195	6 kg

Fonte: o autor, adaptado de Open Airlines (2020).

Entretanto, a utilização do procedimento dos reversores em *idle* não é aplicável em condições operacionais que requeiram uma maior capacidade de frenagem da aeronave. Neste caso, os reversores devem ser utilizados em máximo reverso nas seguintes situações (AIRBUS, 2019):

- Situação de emergência.
- Desaceleração da aeronave não como esperado.
- Alguma falha que afete a performance de pouso.
- Toque na pista tardio.
- Vento de cauda inesperado.
- Baixo coeficiente de atrito da pista.

Por não serem considerados na determinação da distância requerida de pouso, os reversores na posição *idle* são utilizados na maioria das operações em pista seca e utilizados em máximo reverso em caso de pista molhada. (FARIA, 2019).

3.4 ÍNDICE DE CUSTO

O *cost index* (CI), ou índice de custo, é uma ferramenta que determina a velocidade ideal para cada voo, através da obtenção da melhor relação custo-benefício entre o custo do tempo de voo e o custo do combustível. (AIRBUS, 2004).

É representado pela seguinte fórmula:

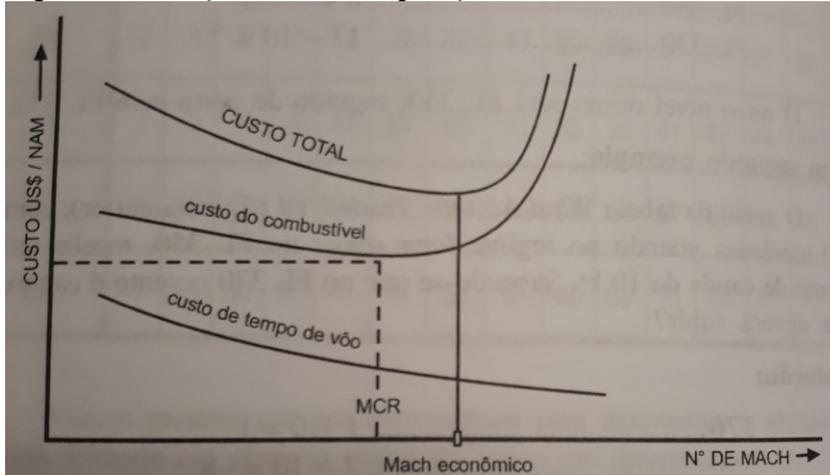
$$COST\ INDEX = \frac{COST\ OF\ TIME}{COST\ OF\ FUEL} \quad (1)$$

O *cost of time* (CT), ou custo do tempo, engloba variáveis operacionais como o custo com tripulação, que pode ser por hora ou fixo, não importando o tempo de voo; custos com manutenção – que podem ser por hora, por calendário ou por ciclos; e custos com o *leasing* das aeronaves, motores e APU, que podem ser por hora ou próprios. (ROBERSON, 2007). O *cost of fuel* (CF) é o custo de combustível que varia conforme a localidade em que a aeronave irá abastecer. Nas aeronaves *Airbus*, os valores de CI podem variar de 0 a 99 ou a 999, dependendo do modelo de sistema de gerenciamento de voo que está equipando a aeronave. (AIRBUS, 1998). Nos modelos *Boeing*, os valores variam entre 0 e 9999, dependendo do modelo de aeronaves. Nas aeronaves *Boeing* que operam no Brasil – 737, 767, 777 –, os valores variam de 0 a 200, 0 a 999 ou 9999 e 0 a 9999, respectivamente. (ROBERSON, 2007).

A empresa aérea ajustará valores de CI conforme a característica de cada voo. Aplicando valores de CI mínimo, valor zero, a velocidade de cruzeiro do voo será a *maximum range cruise*¹³ (MRC), em que o consumo de combustível é mínimo, conforme demonstra a Figura 5, a seguir. Por outro lado, aplicando valores de CI máximos, em função dos custos operacionais serem maiores do que o custo do combustível para aquela etapa, a velocidade da aeronave será maior que a MRC, buscando reduzir o tempo de voo. Portanto, o consumo de combustível será maior. (SAINTIVE, 2011). A velocidade ideal será a de *mach* econômico, que representa a velocidade de custo total mínimo, demonstrada a seguir, na Figura 5.

¹³ MRC: Maximum range cruise: velocidade que proporciona máximo alcance em relação a uma determinada quantidade de combustível.

Figura 5 – Relação custos de operação x velocidade da aeronave



Fonte: Saintive (2011).

A seguir, na Tabela 6, verifica-se que é possível economizar 30 kg de combustível, caso a aeronave voe no seu *mach* econômico, que, nesse exemplo, é determinado pelo CI 30. Voando acima do *mach* econômico e selecionando a velocidade de *mach* 0.78, o consumo de combustível torna-se maior. (AIRBUS, 1998).

Tabela 5 – Potencial de economia

Aeronave (Peso Decolagem)	Distância (nm)	Tipo de Cruzeiro	Combustível etapa (kg)	Tempo de Voo	Economia (kg)
A320-211 (65T)	1000	CI= 30 MACH 0.78	5830 5860	2h 22 min	30

Fonte: o autor, adaptado de Airbus (1998).

3.5 UNIDADE DE FORÇA AUXILIAR

A *auxiliary power unit* (APU), que pode ser vista a seguir, na Figura 6, é “um motor a reação de menor porte instalado na aeronave, geralmente na cauda”. (ABREU, 2016, p. 110) e utiliza como combustível o QAV-1. Ela é uma unidade auxiliar de força usada no solo e ligada antes do corte dos motores, para que seja mantido o fornecimento de ar condicionado, energia elétrica para a cabine de passageiros, *galley*s e sistemas de entretenimento, sendo responsável também por fornecer pressão pneumática para a partida dos motores, energia elétrica para os sistemas do *cockpit* e sistemas hidráulicos. (CROFT, 2010).

Figura 6 – APU *Airbus A320*

Fonte: Reddit (2018).

Além do consumo de combustível, a utilização da APU representa altos custos com manutenção e emissão de gases poluentes (OPEN AIRLINES, 2020b), haja vista que a operação da APU durante cinco minutos corresponde a uma produção de 35 kg de CO₂. (AIRBUS, 2008).

Conforme a Tabela 7 a seguir, pode-se verificar o consumo horário da APU instalada nas aeronaves *Airbus* e *Boeing*, que voam por empresas aéreas brasileiras. No solo, o consumo de combustível da APU varia conforme o modelo de APU e quais sistemas ela está suprindo. Em localidades com temperatura ambiente elevada, por exemplo, haverá uma demanda maior de ar condicionado, resultando em um maior consumo de combustível pela APU. (AIRBUS, 2004).

Tabela 6 – Consumo da APU conforme tipo de aeronave

Tipo de aeronave	Consumo
A320	126 kg / hora
B737	110 kg / hora
B777	312 kg / hora

Fonte: o autor, adaptado de Open Airlines (2018).

Em razão disso, as empresas estão optando por minimizar a utilização da APU. Nesse caso, prioriza-se o uso de fontes externas de energia, ou *ground power units* (GPU), que podem ser fixas ou móveis, acionadas eletricamente ou movidas por um motor a diesel, e

que, ao serem conectadas ao sistema elétrico da aeronave, fornecem energia elétrica de 120V em corrente alternada, ou de 28V em corrente contínua. (SKYBRARY, 2017).

Existem também as unidades de ar condicionado chamadas de *air cooling unit* (ACU) ou *preconditioned air* (PCA), que são unidades que suprem a aeronave com ar condicionado, mantendo sua temperatura interna em níveis confortáveis. (BULLERDICK, 2012).

Com a intenção de aumentar ainda mais a eficiência nas operações, aeronaves *Airbus* podem realizar o *single engine taxi* sem a utilização da APU, através de uma evolução técnica chamada de *single engine taxi without APU* (SETWA), que consiste na modificação da cablagem no *pylon*¹⁴ do motor e no *engine fire handle*.¹⁵ (AIRBUS, c2021b). Essa modificação se dá em virtude da necessidade de haver duas garrafas extintoras disponíveis para cada motor (FAA, 1964), o que, antes dessa modificação, não ocorreria caso a APU fosse desligada, havendo então a necessidade de a aeronave taxiar em *single engine* com a APU operando. Essa atualização é mais uma possibilidade de se evitar o uso da APU durante as operações de táxi, tanto antes da decolagem quanto após pouso, o que mantém a segurança das operações e representa uma economia de aproximadamente 50.000 dólares por ano, por aeronave, em relação ao consumo de combustível. (AIRBUS, c2021b).

3.6 DECOLAGEM COM SANGRIA DE AR DESLIGADA (*BLEEDS OFF*)

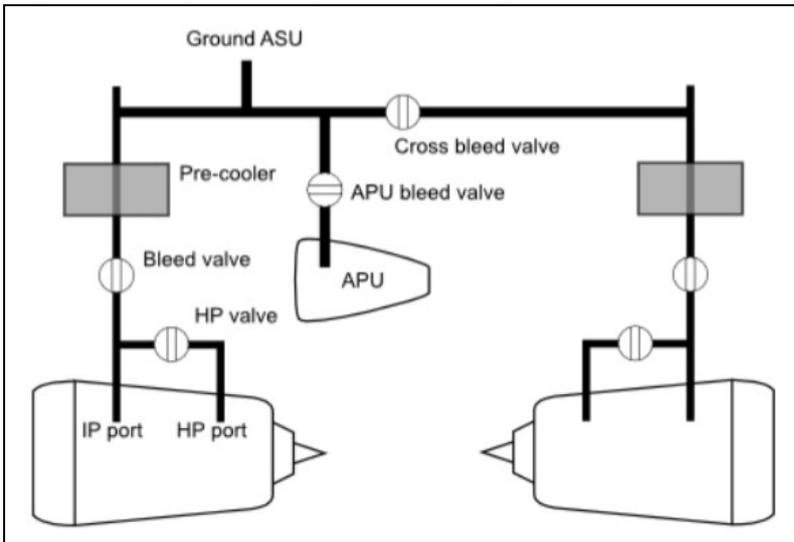
A decolagem com as *bleeds* desligadas permitem a redução do consumo de combustível e também a otimização da potência de decolagem. (AIRBUS, 2008). As *bleeds* são válvulas que extraem ar comprimido gerado pelos compressores dos motores, que pode também ser extraído da APU (SKYBRARY, 2019) para o funcionamento de diversos sistemas da aeronave, tais como: sistemas anti-gelo, pressurização e ar condicionado. (FAA, 2016a).

A seguir, a Figura 7 apresenta um esquema simplificado do sistema pneumático de uma aeronave. Cada motor possui sua *bleed* correspondente, da mesma forma que a APU também possui a sua *bleed*.

¹⁴ PAYLON: estrutura que fixa o motor a reação à asa ou fuselagem da aeronave.

¹⁵ Engine Fire Handle: conjunto de botões da cor vermelha, localizados no *cockpit* da aeronave, que, quando acionados, disparam as garrafas dos extintores de fogo, localizados nos motores e na APU.

Figura 7 – Esquemática de sistema pneumático de um avião



Fonte: Hursts (2021).

É possível decolar com as *bleeds* dos motores em *off* e a *bleed* da APU ligada, melhorando a performance de decolagem, porém, apesar de reduzir-se o consumo de combustível dos motores, ocorrerá um consumo adicional de combustível de 30 kg por parte da APU, considerando-se 12 minutos de táxi. Sendo assim, o consumo de combustível pode ser reduzido entre 2 kg e 3 kg por decolagem, optando-se pela utilização das *bleeds* em *off* na decolagem conjuntamente com a *bleed* da APU desligada. AIRBUS (2004).

4 NOVAS TECNOLOGIAS

A indústria aeronáutica está sempre em evolução e desenvolvendo novas formas de tornar as operações mais eficientes. Nova geração de aeronaves, novos sistemas de gerenciamento de tráfego, novas formas de navegação, equipamentos para realizar *taxi-in* ou *taxi-out* de forma autônoma são exemplos de tecnologias que têm a finalidade de aumentar a eficiência das operações, reduzir custos e preservar o meio ambiente.

4.1 NOVA GERAÇÃO DE AERONAVES

A nova geração de aeronaves – família *Airbus Neo*,¹⁶ *Boeing 737 Max* e *Embraer E-Jets E2* – contempla aeronaves mais modernas, confortáveis e que oferecem uma maior eficiência no consumo de combustível e na redução na emissão de gases poluentes na atmosfera.

O *Airbus Neo*, que realizou seu primeiro voo em 2016 (AIRSOC, 2016), possui atualizações aerodinâmicas, como a utilização dos *sharklets*¹⁷ nas pontas das asas e novos motores, CFM *Leap 1A* ou *Pratt & Whitney Pure Power PW1100-JM*, que oferecem até 20% na redução no consumo de combustível por assento, quando comparado à geração anterior. (AIRBUS, c2021a). Os *sharklets* resultaram em 4% de redução de consumo de combustível em voos longos, o que corresponde a 900 toneladas de redução anual na emissão de CO₂ na atmosfera, por aeronave, e a 50% na redução de emissão de NO_x. (AIRBUS, c2021a).

O *Boeing 737 Max* realizou seu primeiro voo em 2017. (MALINDO AIR, 2017). As modificações realizadas pela fabricante o tornaram mais eficiente que seu antecessor, o *Boeing 737 NG*¹⁸, oferecendo 14% de redução no consumo de combustível, menor emissão de CO₂ e 50% de redução na emissão de NO_x. (TEAL, 2014).

Além da eficiência no consumo de combustível, o modelo *Max* oferece menores custos de operação, em razão do intervalo de manutenções maiores; aumento no alcance, podendo voar 6.482 km, o que representa um acréscimo entre 750 km e 1.074 km em relação à geração anterior. O motor utilizado nessa aeronave – o *CFM Leap 1B* – tem a maior parcela

¹⁶ NEO: abreviatura em inglês para nova opção de motor.

¹⁷ *Sharklets*: denominação utilizada pela *Airbus* para os dispositivos instalados nas pontas das asas de suas aeronaves, que têm como finalidade de reduzir o arrasto induzido, melhorando a performance das aeronaves.

¹⁸ NG: Next Generation: nomenclatura utilizada pela *Boeing* para as aeronaves 737 produzidas a partir de 1993.

de contribuição para a economia de combustível, sendo responsável por 11% de redução no consumo. (TEAL, 2014).

A aeronave brasileira *Embraer E-Jet E2*, lançada em 2018 (EMBRAER, 2018), foi equipada com novos motores, o *Pratt & Whitney PW1000G*, asas redesenhadas, além de um conjunto de inovações tecnológicas que permitem redução no consumo de combustível e na redução na emissão de CO² – 3.700 kg a menos por voo – e menores custos com manutenção (EMBRAER, 2021). A nova geração de *E-Jets* alcançou um consumo 17,3% menor em relação à geração anterior. Seu alcance melhorou, atingindo 5.300 km ante 4.500 km da versão anterior. A maior parcela da redução de consumo corresponde aos novos motores, com 69%. O novo desenho das asas corresponde a 22%. Melhorias realizadas no *fly-by-wire*¹⁹ participaram com 9%, que levaram a uma redução de 20% de área na cauda da aeronave, diminuindo arrasto e peso. (VASCONCELOS, 2018).

4.2 NOVAS TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO

Novas técnicas de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo têm sido desenvolvidas com o propósito de otimizar os voos, proporcionando menor gasto de combustível, menor impacto ambiental, e, assim, aumentando a eficiência da indústria aeronáutica. (OLIVEIRA, 2019). Sobre o sistema de gerenciamento de tráfego, de acordo com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA):

Seu principal objetivo é garantir voos seguros, eficazes, pontuais e regulares, respeitando as condições meteorológicas e de infraestrutura operacional aeronáutica existente. Assegura o balanceamento entre a capacidade de atendimento do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro e a demanda dos voos no País, permitindo que as aeronaves cumpram seus perfis ideais de voo. O provimento deste serviço no Brasil está baseado nas normas e nos métodos recomendados pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), de modo a manter o Brasil no patamar de segurança e eficiência desejados para a navegação aérea. (DECEA, c2021a.).

O DECEA, órgão da Força Aérea Brasileira, e as empresas aéreas, juntamente com os operadores aeroportuários, têm realizado um trabalho conjunto para a reestruturação e modernização do espaço aéreo brasileiro. Exemplo disso é a implantação da TMA²⁰ SP NEO, um projeto do DECEA executado pelo Centro Regional de Controle do Espaço Aéreo-Sudeste

¹⁹ *Fly-By-Wire*: sistema de controle de voo que utiliza computadores para processar os comandos realizados pelos pilotos, enviando sinais elétricos para os atuadores das superfícies de controle.

²⁰ TMA: área de controle terminal situada geralmente na confluência de aerovias, podendo envolver um ou mais aeródromos.

(CRCEA-SE). O objetivo desse projeto é otimizar o espaço aéreo de um dos principais terminais da América Latina, absorvendo com eficiência a crescente demanda de tráfego aéreo dos próximos anos (BRASIL, 2021), em que serão aplicados, sempre que possível, os conceitos de navegação baseados em performance. (BASTOS, 2019).

4.2.1 Sistema de navegação baseado em performance

O sistema de navegação baseado em performance, ou *performance-based navigation* (PBN), redesenha e otimiza a estrutura dos trajetos de navegação aérea, com rotas mais precisas, diretas e com menores distâncias entre os destinos, proporcionando redução no consumo de combustível e menor emissão de gases poluentes. (DECEA, c2021b).

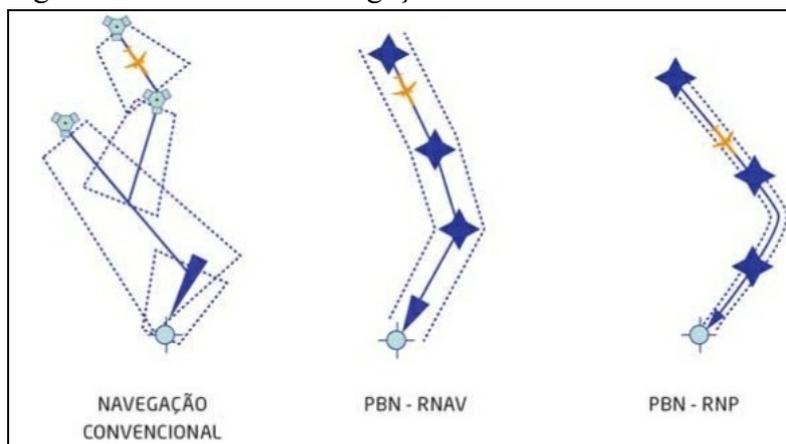
A ANAC define a operação PBN da seguinte forma:

Operação realizada em uma rota ou procedimento cuja execução requer que o conjunto de sistemas da aeronave, qualificação da tripulação e sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo atendam às especificações expressas em termos de precisão, integridade, disponibilidade, continuidade e funcionalidade, compreendendo especificações de RNAV ou RNP, associados a um determinado nível de precisão para cada tipo de operação. (ANAC, 2017, p. 3).

As operações PBN consistem em dois tipos de especificações de navegação: a especificação de navegação de área (*area navigation*) (RNAV), que permite que a aeronave percorra uma trajetória específica baseada em auxílios de terra, satélites ou equipamentos embarcados, e a especificação baseada em um sistema de navegação de área, mas que inclui a obrigatoriedade de a aeronave possuir sistema de monitoramento e alerta de desvios em rota – *required navigation performance* (RNP). (ANAC, 2017).

A seguir, na Figura 8, pode-se visualizar a diferença entre os métodos de navegação: o convencional, que utiliza auxílios de navegação baseados no solo, e o RNAV e RNP, que utilizam satélites.

Figura 8 – Métodos de navegação aérea



Fonte: Barros (2012).

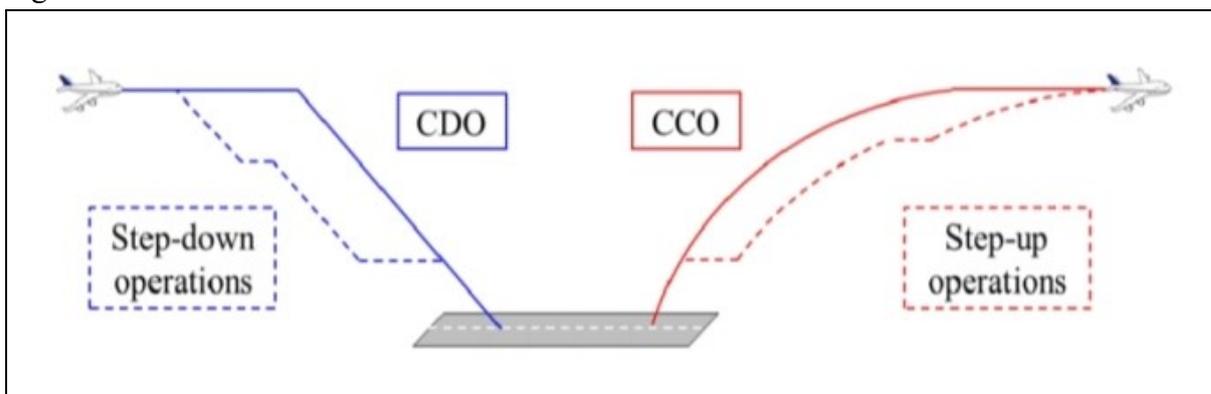
O PBN já está operando no espaço aéreo brasileiro, permitindo a redução na distância e tempo de voo das aeronaves devido à implantação de trajetórias ótimas de voo, o que gera economia de combustível e menor emissão de gases poluentes. Com o início do PBN na região sul do Brasil, a redução no consumo de combustível chega a duas mil toneladas/ano, e a redução na emissão de CO₂ é de cerca de 6.500 toneladas/ano. (MARINHO, 2017).

4.2.2 Operação de subida e descida contínua

A operação de subida contínua, ou *continuous climb operation* (CCO), permite que a aeronave empregue a potência ótima de subida até atingir o nível de cruzeiro. Já a operação de descida contínua, ou *continuous descent operation* (CDO), permite que a aeronave desça com o mínimo de potência, do ponto ideal de descida até antes de interceptar o fixo de aproximação final. (EUROCONTROL, 2021).

A técnica de subida contínua proporciona à aeronave, após a decolagem, subir até seu nível de voo de cruzeiro inicial, mantendo uma razão de subida constante, e com isso, utilizar ajustes mais eficientes de velocidade e mínima variação de potência dos motores. (SKYBRARY, 2020). Na técnica de descida contínua, a aeronave inicia sua descida no ponto ideal, mantendo um perfil de descida contínuo, com os motores na potência mínima e em uma configuração de mínimo arrasto até atingir o fixo ou ponto de aproximação final. (ICAO, 2010). Por conta da utilização dessas técnicas, evita-se que as aeronaves nivelem em níveis de voo intermediários (Figura 9), o que representa um menor tempo de voo e mínimas mudanças no regime de potência dos motores.

Figura 9 – Subida e descida contínuas



Fonte: Moukalan (2018).

A técnica de subida contínua permite redução de custos para as empresas aéreas, pois possibilita menor consumo de combustível, redução no impacto ambiental, além de menor carga de trabalho para pilotos e controladores. (ICAO, 2013). A técnica de descida contínua oferece os mesmos benefícios da subida contínua, mas, adicionalmente, oferece perfis de aproximação mais estabilizados e redução na incidência de voo controlado em direção ao terreno – *controlled flight into terrain* – (CFIT²¹). (ICAO, 2010).

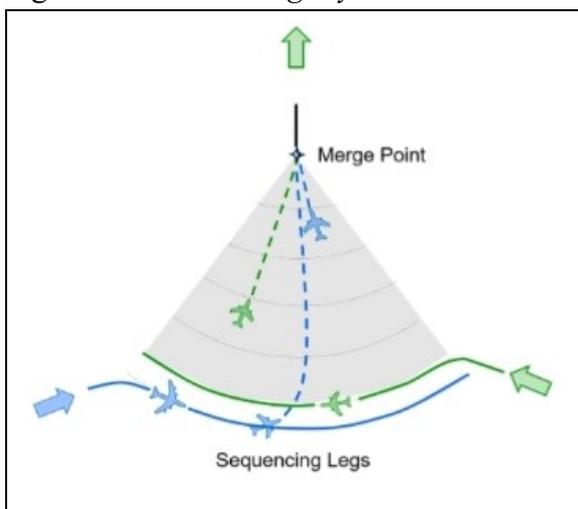
4.2.3 Point merge system

O *point merge system*, ou sistema ponto de convergência, é um sistema que combina sequenciamento com descida contínua. (OLIVEIRA, 2019). Por combinar a aplicação da descida contínua, esse sistema colabora para voos mais eficientes, redução de custos, menor consumo de combustível e menor impacto para o meio ambiente. Ele é projetado para gerenciar grandes fluxos de tráfego aéreo sem a necessidade de vetoração radar,²² e consiste em um ponto de convergência (*merge point*) e pernas de sequenciamento (*sequencing legs*) pré-definidas, conforme demonstra a Figura 10.

Quando o sequenciamento é ativado, a aeronave é autorizada a prosseguir para o *merge point*, sendo as pernas de sequenciamento utilizadas para sequenciar as aeronaves até o momento de serem autorizadas a prosseguirem para o *merge point*. (EUROCONTROL, 2021).

²¹ CFIT: condição de voo em que os pilotos em pleno controle da aeronave voam na direção ao solo, água ou algum obstáculo.

²² Vetoração Radar: orientação para a navegação de aeronaves, em forma de rumos específicos, baseada na observação de uma tela radar.

Figura 10 – *Point merge system*

Fonte: Eurocontrol (2021).

Os benefícios desse sistema incluem, além da simplificação de tarefas dos controladores e redução na carga de trabalho, melhor consciência situacional e melhor gerenciamento do tráfego aéreo. (EUROCONTROL, 2021).

4.3 TAXIAMENTO SEMIAUTÔNOMO E AUTÔNOMO

Formas de taxiamento semiautônomo e autônomo de aeronaves desenvolvem-se para permitir que as aeronaves realizem o procedimento de táxi com os motores desligados. Essa é mais uma forma de redução de custos que pode ser utilizada pelas empresas, visando à sustentabilidade econômica de suas atividades, pois, além da redução no consumo de combustível, aumentam a vida útil dos motores e os intervalos de manutenção.

4.3.1 Taxiamento semiautônomo

O *Taxibot* é um equipamento semiautônomo que já está em uso em alguns aeroportos. Permite o taxiamento da aeronave com os motores desligados e não necessita de modificações nos sistemas do avião, pois é acoplado ao trem de nariz da aeronave, da mesma forma do *pushback* atual, conforme demonstra a Figura 11, a seguir. Esse sistema não adiciona peso à aeronave, e os pilotos possuem o controle direcional e de velocidade durante todo o tempo. (TAXIBOT, c2013). Esse equipamento, porém, necessita de um operador, que acompanha todo o procedimento de taxi e, no momento que a tripulação solicita o

desacoplamento deste, será ele o responsável por retornar com o equipamento ao terminal do aeroporto.

Figura 11 – *Taxibot*



Fonte: TLD (2018).

Esse sistema oferece até 85% de redução no consumo de combustível durante o táxi e igual porcentagem de redução de CO₂, além de aumentar a eficiência do uso dos portões de embarque, em razão de não haver necessidade de aguardar o acionamento de um dos motores para iniciar a movimentação da aeronave no pátio. (SAS, 2021). Esse equipamento já possui certificação da *European Aviation Safety Agency* (EASA) e a *Federal Aviation Administration* (FAA) para uso nas aeronaves da família A320 e *Boeing 737*. (TLD, 2017).

4.3.2 Taxiamento autônomo

O *electric green taxiing system* (EGTS) é um sistema autônomo utilizado para taxiamento de aeronaves. É composto por um motor elétrico, engrenagem de redução e um conjunto de embreagem, sendo acionado pela APU. É instalado em um dos trens de pouso principais do avião, permitindo aos pilotos a realizarem o *pushback*, *taxi-out* e o *taxi-in* com os motores desligados, através de comandos na cabine de comando. (JOHNSON, 2014).

Embora esse sistema ofereça vantagens econômicas em aeronaves de curto alcance, em que o benefício econômico pode chegar a 4% de redução no consumo de combustível, esse sistema – por pesar aproximadamente 400 kg – pode não ser viável economicamente para aeronaves de longo curso, pois o tempo despendido por essas aeronaves no táxi não justifica a sua utilização. (REUTERS, 2019). Além do peso, outra restrição para a utilização desse sistema é que, devido aos freios da aeronave atingirem temperaturas que excedem os 300°, o EGTS necessita de um gerenciamento térmico apropriado. Esse sistema altera o fluxo de ar que passa através dos freios do trem de pouso, o que pode afetar o

procedimento de decolagem, pois os freios precisam ser resfriados a certo nível para que a decolagem seja realizada com segurança. (AVIMANYU, 2019).

A seguir, na Figura 12, é possível visualizar um EGTS instalado em uma aeronave.

Figura 12 – *Electric greener taxiing system*



Fonte: Safran (2015).

Por meio deste sistema aumenta-se a agilidade das operações proporcionando procedimentos de *pushback* e táxi mais dinâmicos, eliminando-se a espera por tratores rebocadores para a realização desses procedimentos, menores custos de manutenção e redução em 85% dos custos das operações de solo. (SESAR DIGITAL ACADEMY, 2021).

5 CONCLUSÃO

O objetivo desta monografia foi entender de que forma os procedimentos operacionais praticados atualmente nas companhias aéreas brasileiras têm contribuído para a sustentabilidade econômica dessas empresas, colaborando para a redução no consumo de combustível.

A forma como é feita a precificação do QAV-1 representa um desafio para as empresas aéreas brasileiras. Por estar atrelada ao dólar, ao utilizá-lo, as empresas aéreas estão sujeitas às variações cambiais, o que interfere no valor a ser pago pelo combustível. Uma vez que o combustível compõe a maior parcela dos custos totais dessas empresas, viu-se a necessidade da criação de procedimentos que tornassem as operações mais eficientes e economicamente sustentáveis.

Cada procedimento – desde utilização de fontes externas ao invés do uso da APU, *single engine taxi-out*, escolha do flape de decolagem, determinação do CI para voar no *mach* econômico da aeronave, escolha do flape para pouso, utilização ou não dos reversores de empuxo, até a chegada ao terminal utilizando o *single engine taxi-in* – tem sua parcela de contribuição em relação à quantidade de combustível economizada, se comparado à operação normal. Dessa forma, para que se obtenha o efetivo ganho gerado por esses procedimentos, é essencial considerar a quantidade de combustível economizada por cada deles, ao passo que se multiplica pelo número de voos diários operados por empresa, e que, quando somados, refletem o volume real de economia produzida. Tais procedimentos trazem também benefícios ao meio ambiente, a partir do momento que a redução do consumo de combustível representa menor emissão de gases poluentes na atmosfera.

Novas tecnologias proporcionam ainda maiores benefícios à operação como um todo. Aeronaves modernas propiciam vantagens econômicas e ambientais, reduzindo-se o consumo de combustível e as emissões de gases poluentes. Aliados às novas tecnologias, novos procedimentos de gerenciamento de tráfego aéreo possibilitam rotas mais diretas, os quais reduzem o tempo total de voo, juntamente com perfis de subida e descida otimizados, que conferem uma maior agilidade operacional, permitindo que as aeronaves voem mais tempo em níveis de voo mais econômicos. Sistemas de táxi autônomos estão sendo testados pelos fabricantes de aviões, o que possibilitará que cada aeronave realize seu *pushback*, o *single engine taxi in* e o *single engine out* com os dois motores desligados, utilizando somente a APU como fonte de energia para esses equipamentos.

Deste modo, conclui-se que ao detalhar cada procedimento, foi possível compreender de que maneira a aplicação dessas iniciativas contribuem para a redução do consumo de combustível nas várias fases operacionais que englobam um voo comercial. Incorporando esses procedimentos nas rotinas diárias das operações, as empresas aéreas vêm diminuindo despesas com combustível e, além disso, gastos com manutenção e com pessoal, o que colabora para operações mais eficientes, tornando-as mais sustentáveis economicamente.

Por fim, acredita-se que essa pesquisa não se encerra aqui, pois a indústria aeronáutica destaca-se pelos esforços permanentes em encontrar alternativas para combater e tentar reduzir os custos de suas operações, ao mesmo tempo em que investe e desenvolve novos processos, métodos e procedimentos que suscitem ganhos operacionais ainda maiores. Além de fonte de consulta, esta pesquisa pode servir como base para outros estudos, permitindo um novo enfoque em procedimentos para a redução do consumo de combustível, à medida que novas tecnologias surjam, aliadas a fontes de combustíveis renováveis, já em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

ABREU, Hélio Luís Camões de. **Motores de aviação convencionais e à reação**. 1. ed. Palhoça: Unisul Virtual, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Anuário do transporte aéreo: sumário executivo**. 2019. *E-book*. Brasília: ANAC, 2020a. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/anuario/2019.zip>. Acesso em: 24 fev. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Anuário do transporte aéreo: gráficos e tabelas**, 2019. *E-book*. Brasília: ANAC, 2020b. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/anuario/2019.zip>. Acesso em: 24 fev. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Instrução suplementar IS 91-001 revisão E, de 24 de maio de 2017**. Aprovação operacional de navegação baseada em desempenho (pbn). Brasília: Ministério da Infraestrutura, 2017. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-91-001/@@display-file/arquivo_norma/IS91-001E.pdf. Acesso em: 1 maio 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Metodologia de cálculo: inventário de emissões atmosféricas**. 1. ed. Brasília: ANAC, 2019. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/metodologia-de-calculo_v8.pdf. Acesso em: 2 maio 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil RBAC 121 emd 13, de 15 de março de 2021**. Operações de transporte aéreo público com aviões com configuração máxima certificada de assentos para passageiros de mais 19 assentos ou capacidade máxima de carga paga acima de 3.400 kg. Brasília: Ministério da Infraestrutura, 2021. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-121-emd-13/@@display-file/arquivo_norma/RBAC121EMD13.pdf. Acesso em: 3 maio 2021.

AIRBUS. **A320 neo: unbeatable fuel efficiency**. c2021a. Disponível em: <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320-family/a320neo.html>. Acesso em: 30 abr. 2021.

AIRBUS. **FCOM A319/A320/A321: flight crew operating manual**. [S. l.]: AIRBUS, dez. 2019.

AIRBUS. **Getting to grips with fuel economy**. [S. l.]: AIRBUS, out. 2004. *E-book*. Disponível em: <https://ansperformance.eu/library/airbus-fuel-economy.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2021.

AIRBUS. **Getting to grips with the cost index**. [S. l.]: AIRBUS, maio 1998. *E-book*. Disponível em: <https://ansperformance.eu/library/airbus-cost-index.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2021.

AIRBUS. **Getting to grips with: A320 family performance retention and fuel savings**. [S. l.]: AIRBUS, jan. 2008. *E-book*. Disponível em: <https://www.cockpitseeker.com/wp->

content/uploads/goodies/ac/a320/pdf/data/GTGA320PerfoRetentionIssue2.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

AIRBUS. **Single engine taxi without apu**. c2021b. Disponível em: <https://services.airbus.com/en/flight-operations/system-upgrades/fuel-efficiency/single-engine-taxi-without-apu.html>. Acesso em: 26 abr. 2021.

AIRSOC. **Lufthansa's first flight airbus a320 neo lands in frankfurt ahead of sunday low key inaugural**. 22 jan. 2016. Disponível em: <http://airsoc.com/articles/view/id/56a26504313944ae678b4567/lufthansa-s-first-airbus-a320neo-lands-in-frankfurt-ahead-of-sunday-low-key-inaugural>. Acesso em: 30 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS AÉREAS (ABEAR). **Panorama 2019: o setor aéreo em dados e análise**. [S. l.]: ABEAR, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://www.abear.com.br/wp-content/uploads/2020/10/Panorama2019.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2021.

AVIMANYU, Basu. Electric taxiing systems: past, present and the possible future. [S. l.]: **Aviation Today**, 1 maio 2019. *E-book*. Disponível em: <https://www.aviationtoday.com/2019/05/01/electric-taxiing-systems-past-present-possible-future/>. Acesso em: 2 maio 2021.

BARROS, José Felipe de Almeida. Pbn Brasil. **Aero Magazine**, São Paulo, 24 maio 2012. Disponível em: https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/pbn-no-brasil_507.html. Acesso em: 1 maio 2021.

BASTOS, Gisele. **Controladores de tráfego aéreo testam nova circulação do terminal São Paulo**. 9 ago. 2019. Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=controladores-de-trafego-aereo-testam-nova-circulacao-da-terminal-sao-paulo. Acesso em: 2 maio 2021.

BR DISTRIBUIDORA. **Querosene de aviação**. c2014. Disponível em: <https://www.br.com.br/pc/produtos-e-servicos/para-aviacao/querosene-aviacao>. Acesso em: 4 mar. 2021.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: <http://legis.senado.leg.br/norma/579494/publicacao/16434817>. Acesso em: 10 mar. 2021.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **AIC-N 16/21, de 20 de maio de 2021**. Reestruturação da circulação aérea da área de controle terminal (tma) de são paulo – projeto tma-sp neo. Rio de Janeiro: DECE, 2021. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/api//storage/uploads/files/1619644409-aic-n16-21-reestruturacao-da-circulacao-aerea-da-tma-sao-paulo-projeto-tma-sp-neo-v4.pdf>. Acesso em: 2 maio 2021.

BULLERDICK, Bryan. **The basic of preconditioned air**. 7 jun. 2012. Disponível em: <https://www.aviationpros.com/gse/gpus-pcas-power-carts-accessories/article/10704019/the-basics-of-preconditioned-air>. Acesso em: 25 abr. 2021.

CORRÊA, Francisco Luiz. **Gerenciamento de empresa aérea**. Palhoça: UnisulVirtual, 2013.

CROFT, John. **APU: unsung hero of the engine world**. 4 out. 2010. Disponível em: <https://www.flightglobal.com/apu-unsung-hero-of-the-engine-world/96121.article>. Acesso em: 25 abr. 2021.

DAVID, Davies P. **Handling the big jets: an explanation of the significant differences in flying qualities between jet transport aeroplanes and piston-engined transport aeroplanes together with some other aspects of jet transport handling**. 3. ed. London: Pan Amer Navigation Service, 1973.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Gerenciamento de tráfego aéreo**. c2021a. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/?i=atividades&p=gerenciamento-de-trafego-aereo>. Acesso em: 30 abr. 2021.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Programa Sirius: o que é navegação baseada em performance**. c2021b. Disponível em: <https://servicos.decea.mil.br/site/especiais/pbn-rio-sp/>. Acesso em: 1 maio 2021.

EMBRAER. **E2 profit hunter: a force with nature**. 2021. Disponível em: <https://www.embraercommercialaviation.com/e2-profit-hunter-a-force-with-nature/>. Acesso em: 30 abr. 2021.

EMBRAER. **Norway's Wideroe receives world's first embraer e190-e2 jet**. 4 abr. 2018. Disponível em: <https://embraer.com/global/en/news?slug=906328-norways-widere-receives-worlds-first-embraer-e190-e2-jet>. Acesso em: 30 abr. 2021.

EUROCONTROL. **Point merge: improving and harmonising arrival operations**. 2021. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/concept/point-merge>. Acesso em: 1 maio 2021.

FARIA, Sandro Francalacci de Castro. **Teoria de alta velocidade**. Palhoça: Unisul Virtual, 2019.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Department of Transportation. **Pilot's guide to takeoff safety**. Oklahoma City: FAA, 2012. *E-book*. Disponível em: https://www.faa.gov/other_visit/aviation_industry/airline_operators/training/media/takeoff_safety.pdf. Acesso em: 3 maio 2021.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Department of Transportation. **Airplane flying handbook: FAA-H-8083-3B**. Oklahoma City: FAA, 2016a. *E-book*. Disponível em: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/airplane_handbook/media/airplane_flying_handbook.pdf. Acesso em: 12 abr. 2021.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Department of Transportation. **Pilot's handbook of aeronautical knowledge: FAA-H-8083-25B**. Oklahoma City: FAA, 2016b. *E-book*. Disponível em: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak/media/pilot_handbook.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Department of Transportation. **Title 14: aeronautics and space**. 1964. Disponível em: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=5b214ddcf3430a19d07fc1889746609f&mc=true&node=pt14.1.25&rgn=div5#se14.1.25_11195. Acesso em: 26 mar. 2021.

HOMA, Jorge M. **Aerodinâmica e teoria de voo**. 26. ed. São Paulo: Asa, 2008.

HURSTS. **Pneumatics**. 2021. Disponível em: <https://hursts.org.uk/airbus-technical/html/ar01s07.html>. Acesso em: 27 abr. 2021.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **DOC 9931**: continuous descent operations (cdo) manual. 1. ed. Montréal, Quebec: ICAO, 2010. Disponível em: https://applications.icao.int/tools/ATMiKIT/story_content/external_files/102600063919931_en.pdf. Acesso em: 30 abr. 2021.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **DOC 9993**: continuous climb operations (cco) manual. Montréal, Quebec: ICAO, 2013. Disponível em: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/3168.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.

INTERNATIONAL FEDERATION OF AIR LINES PILOT'S ASSOCIATIONS (IFALPA). **Engine-out taxi**. 6 jul. 2016. Disponível em: <https://ifalpa.org/media/2093/16pos03-engine-out-taxi.pdf>. Acesso em: 3 maio 2021.

JOHNSON, Thomas F. **Electric green taxiing system (egts) for aircraft**. Mar./abr. 2014. Disponível em: <https://tec.ieee.org/newsletter/march-april-2014/electric-green-taxiing-system-egts-for-aircraft>. Acesso em: 2 maio 2021.

MALINDO AIR. **Malindo air takes the skies as the world's first to fly Boeing 737 max 8**. 22 maio 2017. Disponível em: <https://www.malindoair.com/news-events/2017/05/22/MALINDO-AIR-TAKES-THE-SKIES-AS-THE-WORLD%E2%80%99S-FIRST-TO-FLY-BOEING-737-MAX-8->. Acesso em: 30 abr. 2021.

MARINHO, Daniel. **Rotas mais curtas do PBN-SUL reduzirão 6 milhões de quilos de CO₂ emitidos por ano**. 12 out. 2017. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/31081/ESPA%C3%87O%20A%C3%89REO%20-%20Rotas%20mais%20curtas%20do%20PBNSul%20reduzir%C3%A3o%206%20milh%C3%B5es%20de%20quilos%20de%20CO2%20emitidos%20por%20ano>. Acesso em: 1 maio 2021.

MOUKALAN, Didier. ICAO. European union joint assistance project: CCO-CDO projects. Mombasa, Kenya, 12-15 dez. 2018. Disponível em: https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO-EU%204th%20Seminar/Day%203%20Session%2010-1_CCO-CDO%20Projects.pdf. Acesso em: 30 abr. 2021.

OLIVEIRA, Marcos Fernando Severo de. **Tráfego aéreo e CNS/ATM**. Palhoça: UnisulVirtual, 2019.

OPEN AIRLINES. **Four questions about idle reverse thrust**. Toulouse: Open Airlines, 2020a. *E-book*. Disponível em: <https://blog.openairlines.com/four-questions-about-idle-reverse-thrust>. Acesso em: 2 abr. 2021.

OPEN AIRLINES: **The green book**: fuel book. Toulouse: Open Airlines, 2020b. *E-book*. Disponível em: <https://blog.openairlines.com/the-green-airlines-fuel-book>. Acesso em: 25 abr. 2021.

PALHARINI, Marcos Jesus Aparecido. **Motores à reação**. 9. ed. São Paulo: Bianch Pilot Training, 2011.

PILLIRONE, Giuseppe. **Greener aircraft taxiing**: single engine taxi-out evaluations. 2019. Disponível em: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/webinars/Guiseppe.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

REDDIT. **Auxiliary power unit on A320**. 2018. Disponível em: https://www.reddit.com/r/aviation/comments/6kmg98/auxiliary_power_unit_apu_on_the_a320/. Acesso em: 25 abr. 2021.

REUTERS. **Safran suspends electric jet taxiing project after airbus ends talks**. 3 dez. 2019. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-safran-airbus-taxi-idUSKBN1Y72MN>. Acesso em: 2 maio 2021.

ROBERSON, Bill. Fuel conservation strategies: cost index explained. **Aero Quaterly**, Seattle, v. 2, n. 7, p. 26-28, 2007. Disponível em: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_2_07/AERO_Q207_article5.pdf. Acesso em: 5 abr. 2021.

ROBERSON, William; JOHNS, James A. Fuel conservation strategies: takeoff and climb. **Aero Quaterly**, Seattle, v. 4, n. 8, p. 24-28, 2008. Disponível em: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_08/pdfs/AERO_Q408_article05.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

ROBERSON, William; JOHNS, James A. Fuel conservation strategies: descent and approach. **Aero Quaterly**, Seattle, v. 2, n. 10, p. 24-28, 2010. Disponível em: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_02_10/pdfs/AERO_Q2-10_article05.pdf. Acesso em: 1 abr. 2021.

SAFRAN. **EGTS**: a departure from everything we know. Paris: Safran, 2015. Disponível em: https://www.safran-landing-systems.com/sites/nmbd/files/egts_flyer.pdf. Acesso em: 2 maio 2021.

SAINTIVE, Newton Soler. **Performance de aviões a jato**: peso e balanceamento. 9. ed. São Paulo: ASA, 2011.

SKYBRARY. **Ground power unit**. 2017. Disponível em: [https://www.skybrary.aero/index.php/Ground_Power_Unit_\(GPU\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Ground_Power_Unit_(GPU)). Acesso em: 24 abr. 2021.

SMART AIRPORT SYSTEM (SAS). **Taxibot**. 2021. Disponível em: <https://www.smart-airport-systems.com/solutions/taxibot/>. Acesso em: 2 maio 2021.

TAXIBOT. **The world's only certified and operational taxiing alternative**. c2013. Disponível em: <https://www.taxibot-international.com/>. Acesso em: 2 maio 2021.

TEAL, Michael. New 737 MAX: improved fuel efficiency and performance. **Aero**, Seattle, v. 1, n. 53, 2014. Disponível em: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2014_q1/pdf/AERO_2014q1.pdf. Acesso em: 30 abr. 2021.

TLD. **O taxibot, já certificado no b737, agora também certificado na família a320**. 23 ago. 2017. Disponível em: <https://www.tld-group.com/pt-pt/noticias/o-taxibot-ja-certificado-no-b-737-agora-tambem-certificado-na-familia-a320/>. Acesso em: 2 maio 2021.

TLD. **This-july-month-taxibot-has-taken-a-new-step-towards-enhancing-airports-future.** 30 jul. 2018. Disponível em: <https://www.tld-group.com/news/this-july-month-taxibot-has-taken-a-new-step-towards-enhancing-airports-future/>. Acesso em: 2 maio 2021.

VASCONCELOS, Yuri. **Um jato mais eficiente.** Mar. 2018. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/um-jato-mais-eficiente/>. Acesso em: 30 abr. 2021.

VERDÉLIO, Andréia. **Aéreas pedem mais transparência no preço do querosene de aviação.** 19 set. 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-09/aereas-pedem-mais-transparencia-no-preco-do-querosene-de-aviacao>. Acesso em: 5 mar. 2021.