



**EVOLUÇÃO DOS MOTORES AERONÁUTICOS VISANDO A  
ECONOMIA E SUSTENTABILIDADE**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
AVIAÇÃO CIVIL – UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI**

**Campus Vila Olímpia**

**Orientador: Prof. Me. Francisco José Rezende**

**Igor Ferreira Viana, 125111359969**

**Igor Perry Brandão Bonelli, 125111348879**

**Pedro Henrique Silva Maia, 125111361925**

**SÃO PAULO,  
6º SEMESTRE DE 2022**



**IGOR FERREIRA VIANA**  
**IGOR PERRY BRANDÃO BONELLI**  
**PEDRO HENRIQUE SILVA MAIA**

**EVOLUÇÃO DOS MOTORES AERONÁUTICOS VISANDO A  
ECONOMIA E SUSTENTABILIDADE**

**Trabalho apresentado como exigência parcial  
para a obtenção do título de Bacharel do curso  
de Aviação Civil da Universidade Anhembi  
Morumbi, sob a orientação do Prof. Me.  
Francisco José Rezende.**

**SÃO PAULO,  
6° SEMESTRE  
2022**

## **Resumo**

A proposta dessa pesquisa é realizar uma análise da evolução dos motores aeronáuticos com base na construção e desenvolvimento desses motores ao decorrer das décadas, realizando um panorama desde os primeiros motores aeronáuticos até os motores atuais, explicando o princípio de funcionamento e os pontos que foram aprimorados visando a eficiência desses motores. Em seguida, aborda-se sobre os impactos que esses motores provocam no meio ambiente e como a evolução dos motores aeronáuticos diminuíram esses impactos, for fim, analisaremos os combustíveis utilizados atualmente na aviação e a solução para os impactos causados por esses combustíveis.

**Palavras-chave: Motores aeronáuticos, eficiência, meio-ambiente, combustíveis.**

## **Abstract**

The proposal of this research is to perform an analysis of the evolution of aero engines based on the construction and development of these engines over the decades, making an overview from the first aero engines to the current engines, explaining the operating principle and the points that have been improved to improve the efficiency of these engines. Next, we will discuss the impacts that these engines cause on the environment and how the evolution of aero engines have reduced these impacts. Finally, we will analyse the fuels currently used in aviation and the solution to the impacts caused by these fuels.

**Keywords: Aero engines, efficiency, environment, fuels.**

# SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
1.1 OBJETIVOS .....	5
1.1.1 Objetivo geral .....	5
1.1.2 Objetivos específicos.....	5
<b>2.Contexto Histórico .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Motores aeronáuticos .....</b>	<b>7</b>
3.1 Motor a vapor.....	7
3.2 Motor a combustão interna.....	9
3.2.1 Motor a pistão .....	9
3.2.2 Motor Radial .....	10
3.2.3 Motores em linha e em “V” .....	12
3.3 Motor a reação.....	15
3.3.1 Motor Turboélice.....	15
3.3.2 Motor Turbojato .....	19
3.3.3 Motor Turbofan.....	21
3.3.4 Motor Propfan .....	24
3.4 Motores Elétricos .....	26
<b>4. Impactos ambientais .....</b>	<b>27</b>
<b>5. Combustíveis alternativos.....</b>	<b>27</b>
5.1 Combustível sustentável de aviação (SAF).....	27
5.2 Células de Hidrogênio.....	29
<b>6. Conclusão .....</b>	<b>30</b>

# 1. INTRODUÇÃO

No do século XIX foram desenvolvidos os primeiros motores a serem empregados em aeronaves, os motores a vapor, no entanto, esses motores não obtiveram sucesso devido ao seu excessivo peso, devido isso, foi desenvolvido o motor a combustão interna, esses motores possuíam uma menor relação peso/potência em comparação com os motores a vapor. Com a alta demanda de aviões principalmente no início da primeira guerra mundial, foram fabricados motores alternativos mais eficientes para suprir essa demanda, motores cada vez mais potentes, no entanto, para que esses motores a pistão produzissem muita potência, eles teriam que ser cada vez maiores, e o peso passou a ser fator limitante, devido a isso, os engenheiros tiveram que desenvolver um novo tipo de motor, então, surgiram os motores a reação que funcionavam com base na terceira lei de newton, lei da ação e reação, com a aviação mundial crescendo em um ritmo forte, a indústria aeronáutica implementou novas tecnologias nos motores a reação, os tornando mais eficientes. A sustentabilidade tem sido um ponto muito discutido nas últimas décadas, sobretudo na aviação, que tem um papel importante na contribuição de emissões de gases do efeito estufa (GEE), visto que as aeronaves utilizam combustíveis fósseis e no processo da queima desse combustível, é liberado gases nocivos ao meio ambiente, diante disso, as fabricantes de aeronaves têm desenvolvido novos motores aeronáuticos visando a redução de gases do efeito estufa e a redução do consumo de combustível, visto que o petróleo é um recurso finito, devido isso, a procura e desenvolvimento de combustíveis alternativos tem crescido fortemente.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Fazer um panorama dos primeiros motores aeronáuticos até os motores atuais, explicando seu funcionamento e utilização nas aeronaves, e as soluções para tornar esses motores mais eficientes.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Apresentar o funcionamento dos motores aeronáuticos;
- Conceituar detalhadamente como esses motores evoluíram;
- Apontar os impactos causados pelos motores aeronáuticos;
- Apresentar soluções para diminuir os impactos ambientais causados pelos motores aeronáuticos.

## 2. Contexto Histórico

No século XIX foram desenvolvidos os primeiros motores aeronáuticos, motores a vapor, no entanto, essa ideia não seguiu adiante devido ao elevado peso que possuíam esses motores, com a chegada do século XX foram desenvolvidos motores aeronáuticos alternativos que eram mais eficientes em comparação com os motores a vapor, então, foram desenvolvidos os motores a combustão interna. Com a demanda alta de aviões principalmente no período da primeira guerra mundial, foi necessário projetar motores ainda mais eficientes para suprir essa demanda, os engenheiros e projetistas tinham objetivo de desenvolver motores com alta potência sem incremento de peso para melhorar a relação peso/potência<sup>1</sup>. No período entre o fim da primeira guerra e o início da segunda guerra mundial, a aviação mundial teve outra grande evolução, os motores a pistão começaram a dispor de muita potência, porém, começou e expor suas limitações, como esses motores produziam grande potência e isso era conseguido aumentando a litragem e número de cilindros dos motores, o peso passou a ser um grande problema, aumentou a relação peso/potência principalmente em comparação com os motores a reação que apesar de terem sido apresentado ao mundo pela primeira vez na Inglaterra, foi a Alemanha que utilizou pela primeira vez em aeronaves. Após o fim da guerra, os motores a reação ganharam bastante visibilidade devido a sua eficiência, os motores a pistão tiveram uma baixa na produção e desenvolvimento, se restringindo apenas a aviação geral, muitas das empresas que desenvolviam e produziam esses motores a pistão fecharam ou migraram para o desenvolvimento de motores a reação. Com o surgimento da política de indenizações e direito do consumidor nos estados unidos na década de 1980 apresentada pelo advogado e político americano Ralph Nader, as fabricantes de motores a pistão na época deixaram de fabricar devido ao risco legal, portanto, esses motores deixaram de evoluir, houve apenas pequenas variações ao longo das décadas. Com o forte crescimento da aviação comercial pós segunda guerra mundial foi necessário desenvolver motores a reação para suprir essa demanda, foram desenvolvidos os motores turbo jato, turboélice e futuramente foram desenvolvidos os motores *turbofan*. Com a chegada do século XXI a indústria aeronáutica buscou desenvolver meios de tornar esses motores mais eficientes, reduzindo o consumo de combustível, reduzindo a emissão de gases nocivos ao meio ambiente e reduzindo o ruído desses motores. Esses meios serão abordados ao decorrer da pesquisa.

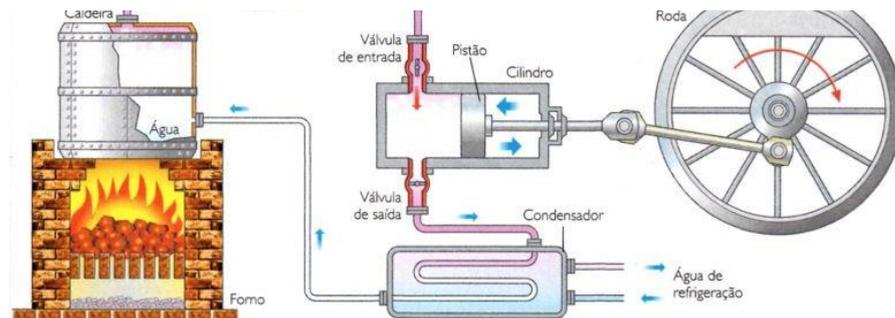
---

<sup>1</sup> Relação peso/potência – É a divisão do peso da aeronave pela potência do motor, quanto menor for essa relação, melhor será a eficiência da aeronave.

### 3. Motores aeronáuticos

#### 3.1 Motor a vapor

**Figura 1** - Funcionamento de uma máquina a vapor.



Fonte: SEDUC/MT.

Embora a primeira ideia de utilizar o vapor para transformar energia térmica em energia cinética tenha sido no século I, foi no ano de 1698 que o engenheiro britânico Thomas Savery criou a primeira máquina a vapor que era utilizada para bombear água acumulada nas minas de carvão na Inglaterra, em 1712 o inventor Thomas Newcomen que trabalhava na produção da máquina a vapor de Savery, pegou o projeto e o aperfeiçoou, criando uma máquina conhecida como “máquina atmosférica de Newcomen”.

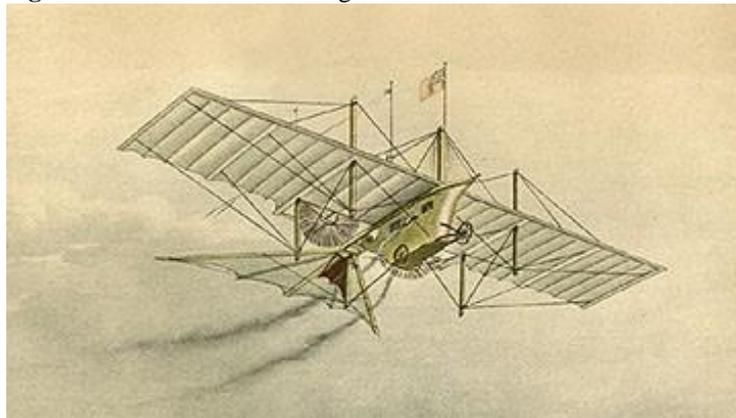
No ano de 1769 o engenheiro britânico James Watt patenteou uma nova máquina, ele utilizou como base os motores a vapor já desenvolvidos, aperfeiçoou e desenvolveu novas máquinas que passariam a ser as mais utilizadas na época e teve um papel fundamental para o início da revolução industrial, esses motores passaram a ser utilizados em fábricas, locomotivas, automóveis, dirigíveis e até mesmo em aviões.

A máquina a vapor é um motor de combustão externa que utiliza carvão como combustível para aquecer uma caldeira com água, essa água era transformada do estado líquido para o estado gasoso, esse vapor de água pressurizado através de um duto entrava dentro dos cilindros e impulsionava os pistões que estavam conectados através de uma biela em uma roda, após o

vapor de água sair dos cilindros através de válvulas, esse vapor era jogado para um condensador que transformava a vapor d'água para o estado líquido novamente, no entanto, esses motores eram muito pesados, não eram eficientes, possuíam alta relação peso potência, produzia muita fumaça devido a queima do carvão, desta forma acabava poluindo muito o meio ambiente.

O primeiro projeto de aeronave utilizando motor a vapor foi em 1843 pelo William Henson, mas o protótipo que ele desenvolveu não chegou a voar, anos mais tarde, em 1848 o seu amigo John Stringfellow fabricou uma aeronave baseada no projeto de Henson e conseguiu alçar voo, a aeronave voou por poucos segundos e sem piloto, isso se deu devido ao peso, a aeronave utilizava um motor a vapor, que era pesado e não gerava a potência necessária para a aeronave se manter no ar. O protótipo era conhecido como *Aerial Steam Carriage*.

**Figura 2** - Aerial Steam Carriage



**Fonte:** Henson e Stringfellow, Aerial Steam Carriage, 1843.  
licenciado sob domínio público, via Wikimedia Commons.

Ao decorrer dos anos, vários projetistas tentaram desenvolver uma aeronave movida a vapor que conseguisse alçar voo, mas não obtiveram sucesso, só em 1933 que os americanos William e George Besler pegaram um biplano *Travel air 2000* e substituíram o motor daquela aeronave por um motor a vapor, eles pegaram um motor a vapor de dois cilindros que era usado em carros e introduziram no avião. Vale salientar que nessa época os motores de combustão interna já tinham sido desenvolvidos.

**Figura 3** - Travel Air 2000 com motor a vapor.



Fonte: Air Travel 2000, 1933. Licenciado sob domínio público, via Wikimedia Commons.

Eles tiveram sucesso no voo, o motor provou ser eficiente naquele avião, no entanto, tiveram a ideia de introduzir esses motores em aeronaves maiores, mas, deixariam de ser eficientes, devido à relação peso potência e complexidade do motor, com os motores a combustão interna evoluindo cada vez mais e os motores a reação surgindo, abandonaram a ideia do motor a vapor, sendo assim, o projeto do *Travel Air 2000* com o motor a vapor, foi o único que obteve sucesso.

## 3.2 Motor a combustão interna

### 3.2.1 Motor a pistão

O princípio de funcionamento do motor a pistão é a queima de combustível dentro de uma câmara de combustão, transformando energia gerada pelas explosões para girar um eixo de manivelas, no caso do avião, o eixo de manivelas transfere a rotação para hélice. Esses motores podem utilizar como combustível derivados de petróleo como a gasolina, diesel ou derivados de vegetais, o etanol. O funcionamento desses motores consiste em ciclos que podem conter duas ou quatro etapas, são elas admissão, compressão explosão e escapamento que são nomeadas como “tempos” que ocorrem em seis fases de funcionamento. Portanto o motor a pistão pode ser chamado de motores de dois tempos e motores de quatro tempos.

O motor a quatro tempos é mais utilizado em aviões pequenos por serem mais eficientes e possuir a combustão menos poluente comparado aos motores a dois tempos, porém serão necessários mais partes moveis e bom entendimento e habilidade do mecânico e construtor.

O motor a dois tempos tem mais sua utilização em ultraleves e autogiros, por serem mais leves e mais potentes que um motor de quatro tempos no mesmo peso e sendo eles de simples

construção, porém são menos eficientes e econômicos, não possuem uma boa lubrificação devido ao desenho de seu projeto, e aquece mais gradualmente devido a maior frequência de combustão.

### 3.2.2 Motor Radial

**Figura 4** - Motor radial Continental 220 HP



Fonte: Tim Vickers, motor radial Continental, 2008.  
Licenciado sob domínio público, via Wikimedia Commons.

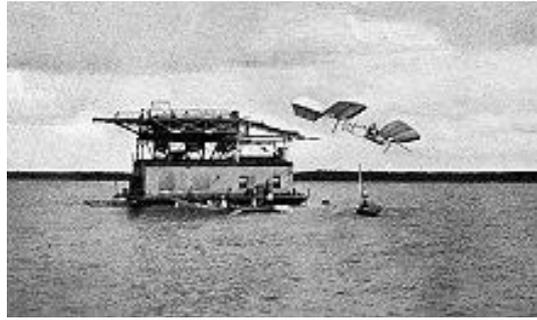
No século XIX surgiram os primeiros projetos de motor a combustão interna, mas só em 1876 que os alemães August Otto e Eugen Langen construíram o primeiro motor a combustão interna com o ciclo termodinâmico quatro tempos, que mais tarde passou a ser conhecido como ciclo otto, com o passar dos anos esses projetos de motor a quatro tempos foram evoluindo e no início do século XX, em 1901, o primeiro motor radial foi criado por Charles Matthews Manly, um engenheiro Americano que o construiu a disposição de cinco cilindros e refrigerado a água. Manly fez a instalação do motor na aeronave *langley aerodrome* e chegou a produzir 52 HP<sup>2</sup> a 950 RPM<sup>3</sup>, obtendo uma melhora formidável nos 12 HP a 1025 RPM do motor de Charles Taylor que era usado no Wright Flyer.

---

<sup>2</sup> HP – É a abreviação de Horse Power, que é uma unidade de medida utilizada para descrever a potência produzida pelo motor.

<sup>3</sup> RPM – Rotações por minuto.

**Figura 5** - Langley Aerodrome, 1903.



Fonte: Samuel Pierpont Langley, Experimento Potomac, 1903. Licenciado sob domínio público, via Wikimedia Commons.

Entre os anos de 1903 e 1904 foi Jacob Ellemmer que usou sua própria sabedoria e experiência produzindo motocicletas para construir o primeiro motor radial arrefecido a ar do mundo, que tinha a disposição três cilindros. O motor foi usado em seu próprio tri plano, e com ele fez diversos voos livres considerados saltos curtos.

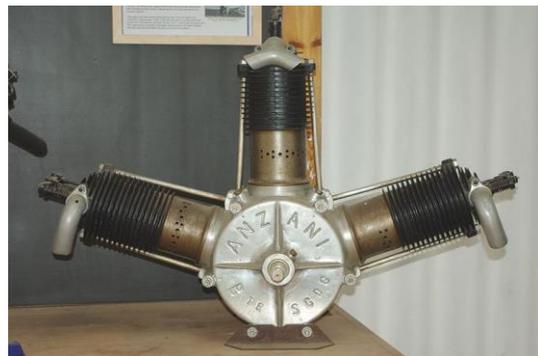
O motor radial de três cilindros de Alessandro Anzani, foi construído como configuração de “ventilador” W3 do qual impulsionava o Blériot XL de Louis Blériot que atravessou o canal da mancha pela primeira vez em uma aeronave mais pesada que o ar.

**Figura 7** - Acionamento do Blériot XL em 25 de julho de 1909 antes de cruzar o canal da mancha.



Fonte: George Grantham Bain, 1909.

**Figura 6** - Motor de três cilindros fabricado por Alessandro Anzani.



Fonte: TSRL, motor Anzani três cilindros, 2009. Licenciado sob CC-BY-SA-3.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anzani\\_Military\\_Model\\_Fan\\_type.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anzani_Military_Model_Fan_type.JPG)

Os motores radiais em sua maioria são refrigerados a ar, porém um dos melhores projetos de motor radial dentre os primeiros, foi o primeiro projeto “estacionário” que foi produzido para aeronaves de combate da Primeira Guerra Mundial. O projeto Original do motor

veio a público no ano de 1909 por Georges Canton e Pierre Unné, que o ofereceram a empresa Salmson. O motor era conhecido como Canton-Unné.

**Figura 8** - Motor radial refrigerado a água Salmson 9Z.



Fonte: DUCH, motor Salmson 9z, 2012. Licenciado sob CC-BY-SA-3.0, via Wikimedia Commons. Disponível em :<  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Salmson\\_9Z\\_\(1\).JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Salmson_9Z_(1).JPG)

**Tabela 1:** Vantagens e desvantagens do motor radial

VANTAGENS MOTOR RADIAL	DESVANTAGENS MOTOR RADIAL
Boa relação peso potência	Grande área frontal gerando muito arrasto
Manutenção simples, facilidade de refrigeração dos cilindros	O motor está propício a vazamentos de óleo devido à complexidade do sistema de lubrificação
Facilidade de acesso, pode se trocar um cilindro sem tirar o motor do berço	A biela central e o cilindro mestre apresentam uma certa fragilidade podendo aquecer e se fundir

Fonte: O autor, 2022.

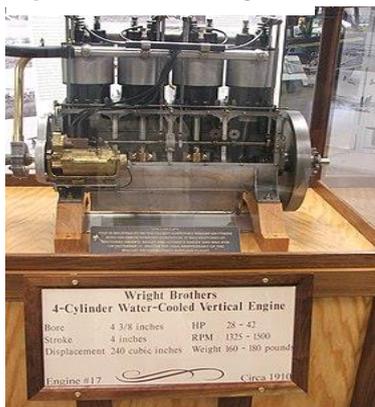
### 3.2.3 Motores em linha e em “V”

Os motores de combustão interna em linha se diferenciavam dos motores radiais pela forma que os cilindros eram posicionados, ao invés de serem posicionados em formato de estrela como os radiais, eles eram posicionados em linha ou em V. Os motores aeronáuticos por

serem de baixa rotação necessitam de grandes cilindradas para gerar a potência necessária, por terem alta cilindrada, esses motores possuem muito torque que é fundamental para transmitir a força para girar a hélice.

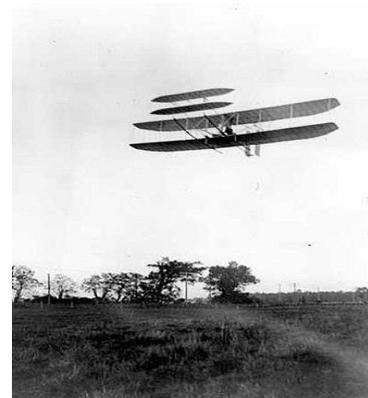
Os primeiros motores em linha a serem utilizados em aeronaves foi em 1903 quando os irmãos Wilbur e Orville Wright fabricaram um motor próprio para utilizarem no protótipo de aeronave que eles estavam desenvolvendo, embora esse primeiro motor desenvolvido não obteve sucesso, devido à baixa potência, a aeronave não conseguia se sustentar no ar, tendo a necessidade de usar uma catapulta para decolar. Ao passar dos anos, ele foram aperfeiçoando o motor e a aeronave, chegando ao desenvolvimento do Wright flyer III que tinha um motor mais potente e melhorias na aerodinâmica e controles de voo, vale salientar que os irmãos Wright foram os pioneiros na criação dos controles de voo dos aviões, tiveram um papel fundamental para a evolução das aeronaves.

**Figura 9** - Motor Wright.



Fonte: Armistej, motor Wright, 2006. Licenciado sob domínio público, via Wikimedia Commons.

**Figura 10** - Wright flyer III realizando um voo em 4 de outubro de 1905.



Fonte: Os irmãos Wright, Wright flyer III, 1905. Licenciado sob domínio público, via Library of Congress.

Em 1906 o brasileiro Alberto Santos Dumont projetou seu modelo de aeronave batizado de 14-bis, nos primeiros testes a aeronave não tinha potência necessária para decolar, então, Santos Dumont substituiu o motor do 14-bis por um motor mais potente, o Antoinette 8V, um motor a combustão interna de oito cilindros em “V” que produzia 50 HP. Santos Dumont projetou novos modelos ao decorrer dos anos, até os dias atuais se discute sobre de quem foi o avião que voou pela primeira vez, o projeto dos irmãos Wright ou de Santos Dumont, embora o projeto dos Wright necessitava de uma catapulta para alçar voo, o 14-bis de Santos Dumont não precisava. Com o surgimento e a popularização dos motores a pistão se restringiram apenas a aviação geral.

**Figura 11** - 14-bis em 1906



Fonte: Jules Beau, 14-bis, 1906. Licenciado sob domínio público, via biblioteca digital gálica.

**Figura 12** - Motor Antoinette 8V 50 HP



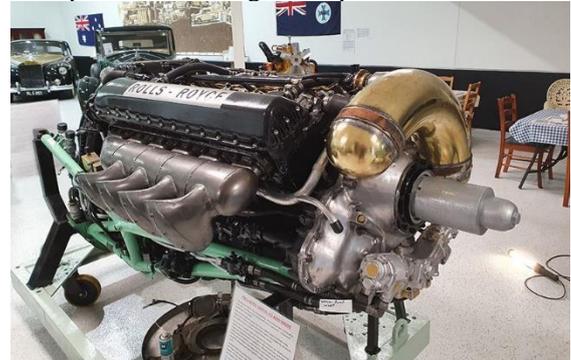
Fonte: Alessandro Nassiri, Antoinette 8v, 2013. Licenciado sob CC-BY-SA-4.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antoinette\\_8V\\_side\\_cropped\\_Museo\\_scienza\\_e\\_tecnologia\\_Milano.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antoinette_8V_side_cropped_Museo_scienza_e_tecnologia_Milano.jpg)>

**Figura 13** - Motor Continental 360 series.



Fonte: Continental Aerospace Technologies.

**Figura 14** - Motor Rolls Royce Merlin 2000 HP, equipou caças da segunda guerra mundial como exemplo P-51 Mustang, e os Spitfires.



Fonte: Dana Ridge, 2020.

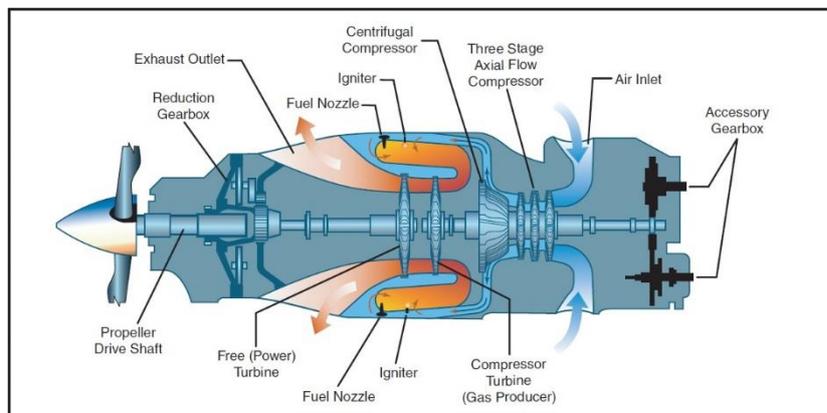
A primeira e segunda guerra mundial tiveram um papel fundamental para a evolução da aviação mundial sobretudo a aviação militar que necessitava de motores mais eficientes, os projetistas tinham a missão de desenvolver motores cada vez mais potentes sem adicionar peso ao projeto, surgiram os primeiros motores superalimentados e com Inter cooler para deixar esses motores mais eficientes. A gasolina usada nos motores das aeronaves na primeira guerra era de baixa octanagem, os motores sofreram problemas com o fenômeno da detonação conhecida também como batida de pinos, os motores sofriam superaquecimento e perda de rendimento, foi nessa época que os primeiros estudos relacionados a gasolina de aviação foram realizados e anos mais tarde foi estabelecido o nível mínimo de cem octanas para a gasolina aeronáutica. À medida que os motores a pistão iam ficando mais potentes, eles também cresciam, desta forma,

começou a revelar suas limitações devido a relação peso potência, devido a este fator, os engenheiros e projetistas precisavam desenvolver um novo tipo de motor aeronáutico que teria que ser mais eficiente do que os motores a pistão, entre (1939-1945) começaram a surgir os primeiros motores a reação a serem empregado em aeronaves.

### 3.3 Motor a reação

#### 3.3.1 Motor Turboélice

**Figura 15** - Motor Pratt Whitney PT6-A



Fonte: 12charlie, 2012.

O motor turboélice utiliza como tração uma hélice que é acionada por um motor a reação que é atrelado a uma caixa de redução ligado ao eixo da hélice, devido à alta rotação das turbinas e compressores, a caixa de redução reduz a rotação da hélice para que ela trabalhe em uma determinada rotação visando a eficiência. O primeiro motor turboélice foi registrado pelo engenheiro húngaro György Jendrassik, no entanto, só houve interesse da utilizar esses motores após a segunda guerra mundial. No ano de 1945 um caça turbo jato britânico *Gloster Meteor* foi modificado e equipado com dois motores turbo hélice Rolls-Royce RB.50 Trent de 750 SHP<sup>4</sup> cada e com cinco pás, sendo assim considerada a primeira aeronave propulsão por um motor turbo hélice, entretanto, essa aeronave não chegou a entrar em produção.

<sup>4</sup> SHP – É a unidade de medida que descreve a potência no eixo da hélice.

**Figura 16** - Caça britânico Gloster Meteor utilizando motores turbo hélice.



Fonte: Aeroplane Monthly, 1975

Em 1948 foi criado o primeiro avião comercial impulsionado por um motor turbo hélice, o Vickers Viscount um avião britânico que possuía cabine pressurizada com capacidade de transportar de 40 a 65 passageiros. A Rolls-Royce desenvolveu o motor (Dart R Da. 3 Mk506), que equiparia os quatro motores do Viscount.

**Figura 17** - Vickers Viscount da VASP.



Fonte: R.A.Scholefield, 1972.

**Figura 18** - Motor Rolls Royce (Dart R DA.3 MK506).



Fonte: Nimbus227, RR (Dart R DA.3 MK506), 2009. Licenciado sob domínio público, via Wikimedia Commons.

Nos estados unidos o primeiro avião turboélice construído foi o Lockheed L-188 Electra no ano de 1950, e usado pela American Airlines para atender a demanda de rotas domésticas de curto e médio alcance. No Brasil foi utilizado pela antiga Varig, fazendo a ponte aérea entre São Paulo e Rio de Janeiro, tendo exclusividade na rota entre os anos de 1975 -1992.

**Figura 19** - Lockheed L-188 Electra.

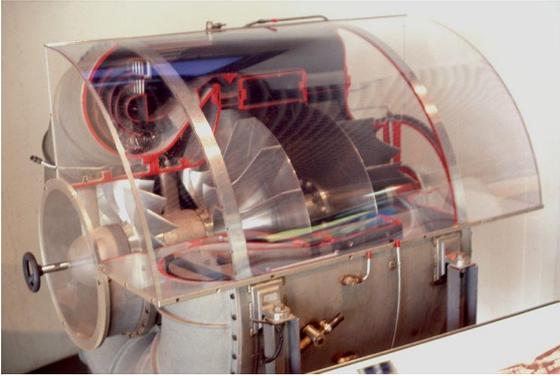


Fonte: R.A.Scholefield, 1972.

Os aviões turboélices possuem um nível de versatilidade incomparável em relação aos aviões a jatos de pequeno porte, pois voam entre 400 e 600 km/h e conseguem proporcionar pousos e decolagens com excelentes performances, acesso a pistas curtas facilitando o uso para passageiros com acessos a locais remotos ao redor do mundo. Mesmo que o motor *turbofan* tenha dominado a aviação comercial, existem no mercado atual algumas aeronaves turboélices que tem demonstrado bastante eficiência em rotas curtas e de médio alcance, como por exemplo, (ATR 72-600 e o Bombardier Q400). No mercado executivo, as aeronaves turboélice têm crescido fortemente, devido a sua eficiência e versatilidade.

Embora o primeiro conceito de motor a jato tenha sido datado em 150 A.C, foi em 1939 que a primeira aeronave voou utilizando um motor turbo jato, após a primeira guerra mundial começaram a surgir os primeiros estudos relacionados ao motor a reação. O primeiro motor turbo jato a equipar uma aeronave foi desenvolvido pelo físico e engenheiro alemão Hans von Ohain, o modelo era o Heinkel HeS3, um motor a reação de compressor centrífugo, esse motor equipou o caça alemão Heinkel He 178.

**Figura 20** - Motor Heinkel HeS3.



Fonte: Rio Baier, Motor Hes3, 2009. Licenciado sob CC-BY-SA-3.0,2,5,2,0,1,0, Via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HeS\\_3\\_Turbojet.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HeS_3_Turbojet.jpg)

**Figura 21** - Heinkel He 178.



Fonte: Bryan R. Swopes, 2018.

Após a segunda guerra mundial as fabricantes de motores aeronáuticos deram maior ênfase no desenvolvimento de motores a reação turbojato, a aviação mundial deu um salto muito importante, tanto no setor militar como no setor da aviação comercial, na década de 1960, a maioria das aeronaves comerciais já utilizavam motores a reação, esses motores permitiam que as aeronaves voassem mais rápido, carregassem mais carga e passageiros, no entanto, consumiam muito combustível e gerava um ruído excessivo, devido a isso, as empresas aéreas solicitaram as fabricantes de aeronaves junto com as fabricantes de motores para desenvolverem aeronaves mais eficientes, principalmente em relação ao consumo de combustível, portanto a Rolls Royce desenvolveu o primeiro motor *turbofan* de *low-bypass* a entrar em serviço, o modelo RB.80 Conway que equipou alguns modelos Boeing 707-420 e Douglas DC-8-40, embora esses motores tenha tido boa reputação, os motores Pratt & Whitney JT3D equiparam a maioria dessas aeronaves.

**Figura 22** - Rolls Royce RB.80 Conway



Fonte: Nimbus227, RB.80, 2022. Licenciado sob CC-BY-SA-4.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: <  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rolls-Royce\\_Conway\\_EMA.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rolls-Royce_Conway_EMA.jpg)

**Figura 23** - Motor turbofan PW JT3D



Fonte: Greg Goebel, PW JT3D, 2012. Licenciado sob CC-BY-SA-2.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: <  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pratt\\_%26\\_Whitney\\_TF33.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pratt_%26_Whitney_TF33.jpg)

**Figura 24** - Motor turbojato PW JT3C que equipou a primeira versão do Boeing 707, Douglas DC-8 e algumas aeronaves militares dos Estados Unidos.



Fonte: United States air force, 2010.

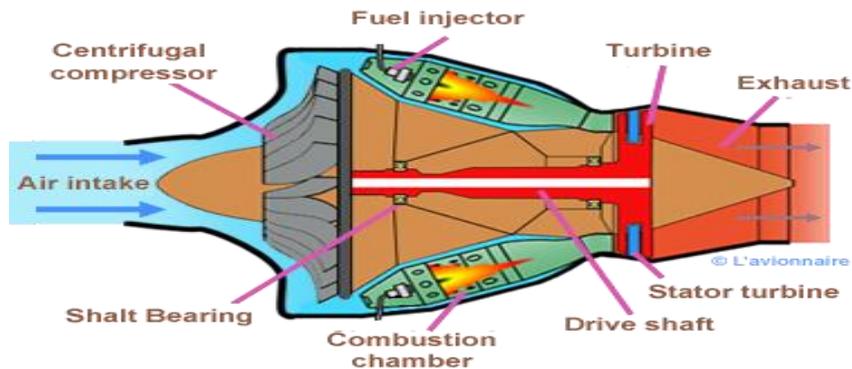
O motor a reação funciona baseado na terceira lei de Newton, que afirma que toda ação corresponde a uma reação de mesma intensidade, mas no sentido oposto. O motor impulsiona uma certa massa de ar para trás fazendo a aeronave deslocar para frente gerando empuxo.

### 3.3.2 Motor Turbojato

Os primeiros motores turbojato a serem utilizados em aeronaves utilizavam um compressor centrífugo, o ar é captado pelo duto de admissão, comprimido pelo compressor e lançado para a câmara de combustão onde ocorre a queima do combustível, os gases gerados pela combustão giram as turbinas que estão acopladas a um eixo ligado ao compressor,

fechando o ciclo. Apesar desses motores com compressor centrífugo gerar bastante pressão de ar, não eram eficientes para gerar empuxo, devido ao ângulo de noventa graus que o fluxo ar tinha que percorrer assim que entrava no motor, posteriormente o compressor centrífugo foi substituído pelos compressores axiais.

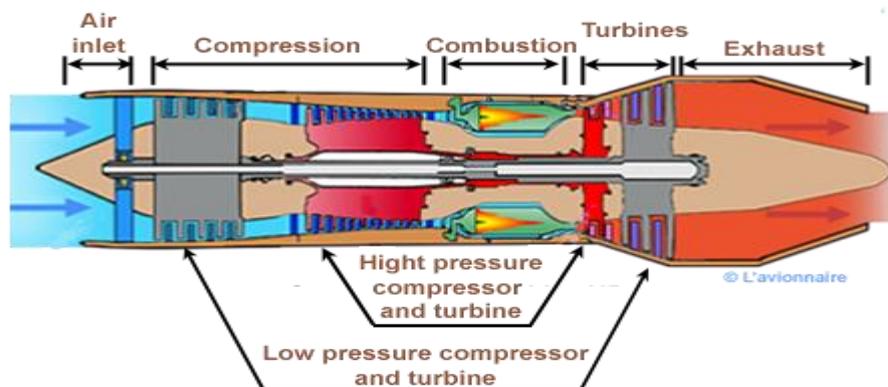
Figura 25 - Motor turbojato com compressor centrífugo.



Fonte: L'avionnaire.

Como os compressores centrífugos não demonstravam ser eficientes para produzir empuxo, os engenheiros desenvolveram um novo tipo de compressor, o compressor de fluxo axial, desta forma, o fluxo de ar entrava em paralelo ao motor. O compressor de fluxo axial consiste em utilizar vários estágios de compressor que à medida que o fluxo de ar passa pelos estágios, o fluxo de ar é cada vez mais comprimido e acelerado chegando à câmara de combustão com alta pressão, os gases gerados pela combustão aceleram as turbinas. Com isso, os compressores axiais são muito mais eficientes, pois o motor produz mais empuxo.

Figura 26 - Motor Turbojato com compressor axial.

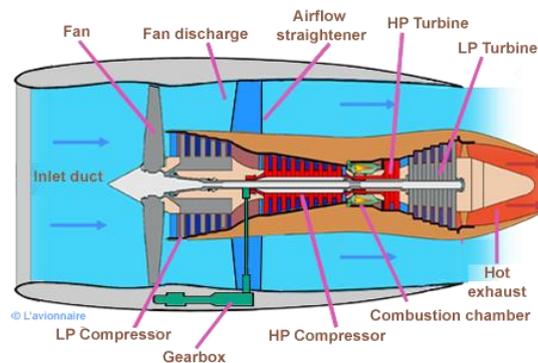


Fonte: L'avionnaire.

Os motores turbojato revolucionaram a aviação mundial principalmente a aviação comercial, no entanto, esses motores apenas são adequados para velocidades supersônicas, para velocidades subsônicas, esses motores produzem muito ruído, são ineficientes e a operação de aeronaves com esses motores são proibidas em muitos aeroportos ao redor do mundo, devido ao barulho produzido pelo motor. Desta forma, as fabricantes de motores tinham a missão de desenvolver motores mais econômicos e diminuir a emissão excessiva de ruído, então, surgiu o motor turbofan.

### 3.3.3 Motor Turbofan

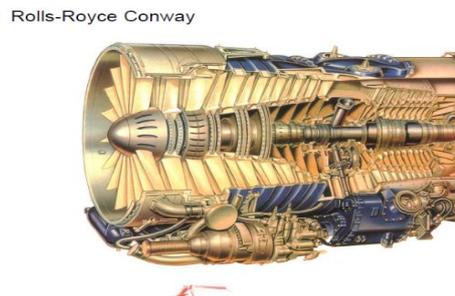
Figura 27 - Motor turbofan.



Fonte: L'avionnaire.

O motor *turbofan* é uma evolução do motor turbojato, o que difere este motor do turbojato, é que no turbojato, o empuxo total do motor é gerado pelos gases que passam pelo núcleo do motor, já no motor *turbofan*, contém um *fan* na parte frontal, fazendo que uma parte do fluxo de ar que entra no motor passe por um duto de derivação que é formado pela carenagem do motor, surgindo então a tecnologia razão de desvio conhecida com *bypass ratio*, a razão de desvio é a razão entre a quantidade da massa de ar que passa pelo duto de derivação do motor e a que passa pelo núcleo do motor, os primeiros motores *turbofan* eram de *low-bypass ratio*, de baixa razão de desvio, para se ter ideia, no motor Rolls Royce Rb.80 Conway, o primeiro motor *turbofan* a ser empregado em aeronaves, tinha uma razão de desvio de 0,3:1, ou seja, uma pequena parte do fluxo de ar que o motor admitia, passava por fora do motor, os motores *turbofan low-bypass* produziam muito ruído e consumiam bastante combustível, ao passar dos anos, aviação comercial em forte crescimento no mundo, as empresas aéreas queriam que os fabricantes de aeronaves desenvolvesse aviões mais econômicos, isso foi conseguido aumentando a razão de desvio dos motores *turbofan*, surgindo os motores de *high-bypass ratio*.

Figura 28 - Motor Rolls Royce Conway turbofan low-bypass.



Fonte: Rolls Royce plc, 1986.

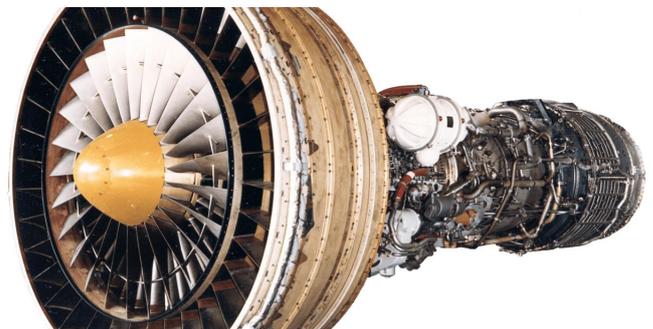
A fabricante de motores norte americana General Eletric foi a pioneira nesses tipos de motores, desenvolveu os motores TF39 para serem utilizados no LockHeed C-5 Galaxy, um avião militar cargueiro dos Estados Unidos, o motor TF39 produzia uma razão de desvio de 8:1, ou seja, a cada nove unidades de ar que o motor admitia, oito partes passavam pelo duto de derivação e uma parte passava pelo núcleo, desta forma, melhorando a eficiência de combustível. Os motores *turbofan high-bypass* são mais eficientes do que os motores *low-bypass*, a maior parte do empuxo desses motores são gerados pelo fluxo de ar que passa pelo *fan*<sup>5</sup> e segue pelo duto de desvio do motor. Esses motores começaram a produzir mais potência, consumiam menos combustível e produziam menos ruído em comparação com os motores turbojato e os motores *turbofan low-bypass*.

Figura 29 - LockHeed C-5 Galaxy com os motores GE TF-39.



Fonte: Agustin Anaya, 2009.

Figura 30 - Motor General Eletric TF-39.



Fonte: Rick Kennedy, 2019

<sup>5</sup> FAN – É um ventilador, nos motores a reação, ele contém várias pás, também chamadas de *Blades* que impulsiona o fluxo de ar para dentro do motor.

Com a introdução desses tipos de motores fez com que a aviação comercial ampliasse ainda mais, à medida que os anos se passavam, fabricantes de motores foram desenvolvendo motores mais eficientes, aumentando cada vez mais a razão de desvio, introduzindo novas tecnologias, utilizando materiais mais leves como fibra de carbono, liga de titânio, as *blades* do *fan* e as pás dos compressores e turbinas com mais eficiência aerodinâmica.

Figura 31 - Motor General Eletric GE9X



Fonte: GE Aerospace. c2022.

O motor GE9X da fabricante americana General Eletric (GE) que equipará o Boeing 777-9x, é o motor turbofan mais potente já fabricado, além de ser mais forte, segundo a GE (2020), O GE9X consome 10% menos combustível que seu antecessor o GE90, 50% menos emissões, se tornando muito eficiente.

A Rolls Royce (RR) também tem desenvolvido um novo tipo de motor, conhecido como *ultrafan*, que promete ser maior e mais potente do que GE9X. O *ultrafan* da RR será mais eficiente em relação aos modelos já existentes, a família de motores RR Trent. Esse novo motor funcionará com combustível 100% sustentável, e estimasse que ele entre em operação após 2030.

Figura 32 - Rolls Royce Ultrafan.



Fonte: Rolls Royce. c2022.

### 3.3.4 Motor Propfan

Figura 33 - Motor Propfan General Eletric 36.



Fonte: CFM International, 2021.

Com a crise mundial do petróleo na década de 1970, fez com que o preço dos combustíveis subissem em níveis alarmantes e em muitos lugares ao redor mundo estava faltando, as companhias aéreas tiveram prejuízos exorbitantes, em vista disso, as empresas aéreas buscaram uma alternativa para reduzir o consumo de combustível, então a agência espacial norte americana (NASA), financiou pesquisas para desenvolver um novo tipo de motor que tinha o objetivo de ser mais eficiente que os motores *turbofan* daquela época, então surgiu

o conceito do *propfan*, um motor *turbofan* atrelado a duas hélices contra rotativas, a proposta desses motores era que eles pudessem impulsionar uma aeronave na mesma velocidade que as aeronaves com o motor *turbofan*, mas consumindo menos combustível. Foram realizados diversos testes com esses motores, mas, esses projetos não seguiram a diante devido ao excesso de ruído produzido pelas hélices, e como o preço dos combustíveis começaram a abaixar na década de 1980 e 1990, as empresas aéreas optaram por continuarem utilizando os motores *turbofan*, que estavam se tornando cada vez mais eficientes.

Com o preço dos combustíveis subindo novamente na primeira década do século XXI, o conceito de motor *propfan* voltou a ser desenvolvido pelas fabricantes de aeronaves e motores, com a missão de tornar esses motores mais eficientes e sanar os problemas de ruído que esses motores produziam.

O programa CFM Rise da General Electric (GE) em parceria com Safran, tem introduzido novas tecnologias nos motores *propfan*, um novo conceito de motores com *fan* aberto, ou seja, sem a carenagem que os motores *turbofan high-bypass* possuem, por onde passa a maior parte do empuxo. Esses novos motores utilizarão novos materiais como fibra de carbono, ligas metálicas avançadas, compósitos de matriz cerâmica e nova arquitetura de hélice, obtendo eficiência propulsora e térmica, esses motores funcionarão com combustíveis 100% sustentáveis que reduzirá drasticamente a emissão de gases causadores do efeito estufa. Segundo (CFM, 2021, p. 5) “Com essa nova arquitetura de *fan* aberto, esses motores poderão reduzir o consumo de combustível e de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em mais de 20% em relação aos motores mais atuais.”

Figura 34 - Motor propfan CFM Rise.

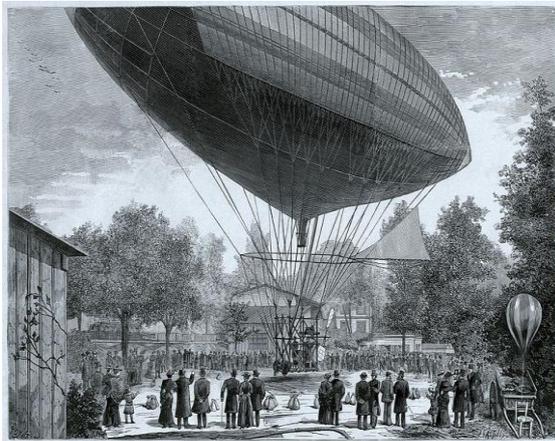


Fonte: CFM International, 2021.

### 3.4 Motores Elétricos

O motor elétrico teve sua primeira utilização na aviação no ano de 1883, quando Gaston Tissandier fez seu primeiro voo com o modelo de dirigível elétrico da história, seu modelo superou todas as condições de manobrabilidade, porém ficou limitado em operações contra o vento pela falta de potência. No ano de 1957, Fred Militky criou a bateria de níquel cádmio, capaz de converter o monoplano Brditschka HB-3 para motores elétricos. Esse modelo voou por cerca de 15 minutos e acabou ficando registrado como o primeiro voo de um avião elétrico mais pesado que o ar, transportando uma pessoa e por meios próprios.

Figura 35 - Dirigível elétrico em 1833.



Fonte: Biblioteca do congresso dos Estados Unidos, 1833.

Figura 36 - Brditschka HB-3



Fonte: Rio Loeschie, HB-3, 1990. Licenciado sob CC-BY-SA-3.0, via Wikimedia Commons. Disponível em: <  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HB-23-sls-d%C3%BCren.jpg>

Com o avanço da tecnologia, as fabricantes de motores desenvolveram novas arquiteturas de motores movido a eletricidade, esses motores podem ser 100% elétricos dependendo de baterias ou híbrido, a grande questão dos motores que dependem de bateria é o peso, para se ter uma boa autonomia, a bateria é aumentada e consequentemente fica mais pesada, tornando ineficiente para voos longos, diante disso, as fabricantes tem feito esforços para desenvolver baterias mais eficientes para sanar o problema em relação ao peso, a curto prazo, os motores 100% elétricos se restringem a aeronaves de pequeno porte, para aeronaves maiores, aviação comercial, fabricantes com a Airbus, tem projetos para implementar essa tecnologia em aeronaves comerciais no futuro, inclusive aeronaves híbridas movidas a hidrogênio.

Figura 37 - Aeronave elétrica EFAN da Airbus.



Fonte: Walt Stout, 2019.

Os motores elétricos são mais silenciosos, não produzem gases, pois não ocorre combustão, facilidade de manutenção, pois tem poucas partes móveis, no entanto, o grande problema desses motores, são o peso das baterias, e isso é um problema a ser sanado pelas fabricantes de aeronaves.

#### 4. Impactos ambientais

Os motores aeronáuticos são movidos a combustíveis fósseis (AVGAS, JET-A), ou seja, derivados de petróleo, esses combustíveis quando são queimados, emitem gases nocivos na atmosfera, como por exemplo: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e óxido de nitrogênio (Nox). Esses gases são uns dos responsáveis por causar o aquecimento global, afetando também a qualidade do ar. Além dos impactos dos combustíveis fósseis, os motores aeronáuticos produzem um excessivo ruído, sobretudo os primeiros motores a reação, os motores turbojato. As fabricantes de motores tiveram que desenvolver novas tecnologias para tornar os motores cada vez mais eficientes, reduzindo o consumo de combustível e nível de ruído, no entanto houve a necessidade de desenvolver combustíveis alternativos para atender as novas normas regulatórias que visam reduzir as emissões de poluentes das aeronaves.

#### 5. Combustíveis alternativos

##### 5.1 Combustível sustentável de aviação (SAF)

A mudança climática tem sido um assunto muito discutido nos últimos anos, o uso de combustíveis derivados de petróleo tem contribuído para o aquecimento do planeta, emitindo muitos gases do efeito estufa (GEE), em vista disso, a busca por fontes renováveis de combustíveis tem sido um dos principais objetivos das empresas. A aviação mundial tem

contribuído significativamente para o aumento do aquecimento global, segundo dados da (FAPESP, 2013, p. 5) “Atualmente, a indústria de aviação gera aproximadamente 2% das emissões de dióxido de carbono causadas pelo homem; é uma parte pequena, mas crescente, e as projeções sugerem que atingirão um nível de 3% até 2030”. O uso do combustível sustentável de aviação (SAF) tem sido usado pelas companhias aéreas ao redor do mundo, uma boa parte das aeronaves comerciais são homologadas para utilizarem até 50% SAF, entretanto, apenas uma pequena porcentagem desse combustível é acrescentada ao combustível convencional, isso se dá devido a pequena produção desse combustível, fazendo com que o preço seja duas a três vezes mais caro que o combustível convencional.

O combustível sustentável de aviação (SAF) utiliza matérias primas sustentáveis, como óleo de cozinha, cana de açúcar, soja e eucalipto, vale salientar que algumas empresas aéreas não utilizam SAF de matérias primas específicas, combustíveis sustentáveis derivados de soja e óleo de palma, devido à preocupação com as altas taxas de desmatamento. Em relação à emissão de gases nocivos a atmosfera “o uso de combustível sustentável de aviação demonstrou proporcionar reduções significativas nas emissões gerais de (CO<sub>2</sub>) em comparação com os combustíveis fósseis, até 80% em alguns casos.” (IATA).

O grande problema do SAF é o seu elevado custo, para reduzir o custo, é necessário investimentos em novas tecnologias de produção, desenvolver matérias primas mais eficientes sem desmatar o meio ambiente, entretanto, deve existir um incentivo por parte dos governos para que as empresas possam investir nessa ideia ao longo prazo, O SAF tem demonstrado que é a solução para reduzir as emissões de carbono, a chave para introduzir esses combustíveis em grande escala é a redução do custo. Empresas como a Airbus, Boeing, Embraer, tem apresentado projetos de aeronaves equipadas com motores 100% movidos a SAF, alguns projetos movidos a células de hidrogênio, híbridos e completamente elétrico.

A empresa brasileira Embraer desenvolveu uma nova versão do seu avião agrícola, o Ipanema, essa aeronave foi certificada para utilizar como combustível o etanol (Álcool hidratado), combustível sustentável derivado da cana de açúcar. Diante disso, essa aeronave dispõe de um menor custo de operação, deixando a aeronave mais eficiente e sendo mais atrativa no mercado.

Figura 38 - Embraer Ipanema EMB 203.



Fonte: Aero magazine, 2017.

## 5.2 Células de Hidrogênio

Uma célula de combustível de hidrogênio é um dispositivo eletroquímico que se dá pelo processo de converter hidrogênio em energia elétrica, para que possa acionar os motores e gerar propulsão elétrica. A eletricidade, água e o calor são os únicos componentes desse processo químico, o tornando o hidrogênio um combustível extremamente limpo, sendo mais leves, versáteis e mais fortes que alternativas como baterias.

As células de combustíveis de hidrogênio diferentemente das baterias não necessitam de serem recarregadas, elas vão continuar a fornecer eletricidade enquanto houver hidrogênio nos tanques, no entanto, diante disso, tem se estudado o armazenamento de hidrogênio em sua forma líquida, que aumenta drasticamente a densidade e melhorando a eficiência, as células de hidrogênio líquido precisam ser armazenadas em tanques criogênicos para manter a temperatura extremamente baixa.

O hidrogênio é uma das soluções para se conseguir zerar as emissões de carbono nos motores aeronáuticos, no entanto, tem encontrado problemas para viabilidade desse combustível, os altos custos de transporte do hidrogênio, faz com que ele tenha que ser produzido mais perto possível de onde será utilizado, diante disso, requer investimentos em infraestrutura para que o hidrogênio seja produzido no local onde será utilizado ou mais perto possível.

A curto prazo o hidrogênio será utilizado em aeronaves menores, já existem projetos de aeronaves movidas a hidrogênio que serão introduzidas antes de 2025, a longo prazo, estimasse que só após de 2030 o hidrogênio será introduzido em aeronaves comerciais grandes, entretanto, o surgimento de novas tecnologias pode antecipar ou adiar a introdução dessas aeronaves. Outro ponto a se analisar é que o hidrogênio não será introduzido apenas em novas aeronaves, existem empresas na qual tem se estudado introduzir esse novo combustível nas aeronaves já existentes, isso será crucial para reduzir as emissões de carbono na atmosfera.

Figura 39 - Programa ZEROe da Airbus. Aeronave turbofan movida a hidrogênio líquido.



Fonte: Airbus.

## 6. Conclusão

A indústria dos motores aeronáuticos evoluiu incansavelmente desde o início do século XX, ao decorrer das décadas foram descobertas novas formas de melhorar a eficiência propulsora das aeronaves. Os motores a vapor tiveram seu conceito abandonado devido sua baixa eficiência, diante disso, os motores a combustão interna surgiram e revolucionaram a indústria aeronáutica, com a era jato surgindo após a segunda guerra mundial os motores a pistão se restringiram apenas a aviação geral de pequeno porte, os motores a reação possuíam muita potência e fazia com que as aeronaves que eram propulsadas por esses motores, viajassem a velocidades mais altas do que as aeronaves com motor a pistão. Além dos motores turbo jato, foram introduzidas novas arquiteturas de motores a reação como por exemplo o (*Turbofan, turboprop, propfan.*)

Os motores turbo jato apenas são eficientes em velocidades supersônicas, atualmente, apenas algumas aeronaves militares utilizam esses tipos de motores.

Os motores turboélice são utilizados em aeronaves com velocidades de até 600 km/h, pois a hélice tem uma limitação de rotação, pois quando as hélices chegam na velocidade de rotação próxima a velocidade do som, elas perdem eficiência e produzem muito ruído.

O motor propfan nasceu com a ideia de ser mais eficiente que os motores turbofan, no entanto esses motores produziam um ruído excessivo devido as hélices contra rotativas chegarem na velocidade do som, décadas depois, com novas tecnologias, esse tipo de motor voltou a ser estudado e desenvolvido pela indústria aeronáutica. Os motores turbofan é uma atualização dos motores turbojato, foi introduzida uma nova tecnologia chamada de *by-pass ratio*, esses motores consomem menos combustível, são mais potentes e produz menos ruído do que os motores turbojato.

Com os preços dos combustíveis de aviação subindo, os motores aeronáuticos evoluíram e se tornaram mais eficientes, foram introduzidas novas tecnologias para torná-los mais econômicos, com menos ruído e redução da emissão de gases do efeito estufa (GEE), com as mudanças climáticas e os combustíveis fósseis se tornando cada vez mais caro, as fabricantes têm buscado combustíveis alternativos para reduzir os custos e a emissão de GEE, algumas empresas aéreas já utilizam o combustível sustentável de aviação (SAF), no entanto, devido a sua produção em baixa escala, os custos elevados inviabiliza a utilização desses combustíveis em grande escala, apenas uma pequena parte do SAF é misturado ao combustível convencional.

Os motores elétricos têm demonstrado ser eficientes em aeronaves de pequeno porte em rotas de curto e médio alcance, no entanto, para aviação comercial ainda não é uma opção viável devido ao peso das baterias, existem estudos de como tornar essas baterias mais leves e mais eficientes, a utilização de hidrogênio por exemplo, que produz eletricidade e não precisará ser recarregada, no entanto, o grande problema do hidrogênio é alto custo de transporte, que é o problema a ser sanado.

A indústria aeronáutica é um setor muito importante para economia mundial, por isso é dever de todos desenvolver uma aviação sustentável, a curto prazo, os governos devem investir em pesquisas e desenvolver novas formas de produção de combustível sustentável para reduzir os custos, aumentar a produção e fornecer o combustível sustentável de aviação (SAF) com um custo menor, viabilizando o uso em grande escala desses combustíveis pelas companhias aéreas,

que reduzirá drasticamente a emissão de carbono na atmosfera, a longo prazo, os motores híbridos movido a hidrogênio será o solução para zerarmos as emissões de carbono no meio ambiente, para assim, contribuir positivamente para a preservação do planeta terra.

### **Agradecimentos**

Agradecemos em primeiro lugar a Deus, por nos ter abençoado em nossa jornada, agradecemos também ao ilustríssimo professor Francisco Rezende que nos guiou em nossa caminhada, orientando e auxiliando para encontrarmos o direcionamento correto dessa pesquisa, quero agradecer também as nossas famílias, que tanto lutaram, para que nós, integrantes do grupo estarmos aqui hoje, agradecemos aos nossos amigos que diretamente ou indiretamente participou de nossa trajetória, Obrigado a todos.

Deus na proa!

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Daniel. **Motores a pistão aeronáuticos, um panorama**. 2018. Disponível em:< <https://autoentusiastas.com.br/2014/08/motores-a-pistao-aeronauticos-um-panorama/>. Acesso em: 30 de out. de 2022.

SAVERY, Thomas. **The Miner's Friend: Or, an Engine to Raise Water by Fire**. 1712. England: At the Corner of Pope's Head-Alley in Cornhill. 65 páginas. Disponível em:< [https://books.google.com.br/books?id=v\\_-yJ5c5a98C&pg=PA4#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=v_-yJ5c5a98C&pg=PA4#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 27 de out. de 2022

ROSEN, Willian. **The Most Powerful Idea in the World: A Story of Steam, Industry, and Invention**. 2012. United States of America: University of Chicago Press. 185 páginas. ISBN 978-0-226-72634-2. Disponível em:< <https://books.google.com.br/books?id=4wycmAWSWSMC&lpg=PP1&dq=isbn%3A9780226726342&hl=pt-BR&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 30 de out. de 2022.

HOWARD, Fred. **Wilbur and Orville: A Biography of the Wright Brothers**. 1987. New York: Knopf. (em inglês) pág. 436, 512. ISBN 9780394542690. Disponível em:< <https://archive.org/details/wilburorvillebi00howa/page/436/mode/2up>. Acesso em: 05 de nov. de 2022.

ROYAL Aeronautical Society. **Biografia de William Samuel Henson**. [s.d.]. Disponível em:< <https://aerosocietyheritage.com/biographies/william-samuel-henson>. Acesso em: 05/11/2022.

TIME Magazine. **Fly By Steam**. 2007. Disponível em:< <https://web.archive.org/web/20070930014554/http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,769820,00.html>. Acesso em: 04 de nov. de 2022.

ROCHA, Jeniffer. **Funcionamento do motor de combustão interna**. c.2022. Disponível em:< <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>. Acesso em: 07 de nov. de 2022

GUSTON, Bill. **Enciclopédia Mundial de Motores Aeronáuticos: do pioneiros até os dias atuais**. 1989. Cambridge, Reino Unido: Patrick Stephens. ISBN1-85260-163-9. Disponível em:< <https://www.worldcat.org/pt/title/71541765>. Acesso em: 07 de nov. de 2022.

HISTÓRIA da aviação: O primeiro turboélice do mundo. **Hartzell Propeller**. 2018. Disponível em:< <https://hartzellprop.com/aviation-history-the-worlds-first-turboprop/#:~:text=The%20first%20turboprop%20engine%20was,with%20two%20Rolls%20DRoyce%20RB>. Acesso em 06 de nov. de 2022.

ARAÚJO, Daniel. **Cinco Turbinas A Gás De Destaque Na História Da Aviação**. 2020. Disponível em:< <https://autoentusiastas.com.br/2020/01/cinco-turbinas-a-gas-de-destaque-na-historia-da-aviacao/>. Acesso em: 05 de nov. de 2022.

MOTOR Turbojato. **Nasa, Glenn Research Center**. 2021. Disponível em:< <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/aturbj.html>. Acesso em: 07 de nov. de 2022.

MOTOR Ge9x. **GE Aerospace**. c2022. Disponível em:< <https://www.geaerospace.com/propulsion/commercial/ge9x>. Acesso em: 05 de nov. de 2022.

CFM Rise Program: Revolutionary Innovation for Sustainable Engines. **CFM Aero Engines**. 2021. Disponível em:< [https://www.cfmaeroengines.com/wp-content/uploads/2021/07/CFM\\_RISE\\_Whitepaper\\_Media.pdf](https://www.cfmaeroengines.com/wp-content/uploads/2021/07/CFM_RISE_Whitepaper_Media.pdf). Acesso em: 05 de nov. de 2022.

ALBERSTADT, Taylor e STEVE, Lukas. **Propulsão De Aeronaves Elétricas E Como Funciona**. c2022. Disponível em:< <https://aerospace.honeywell.com/us/en/about-us/blogs/electric-aircraft-propulsion-how-it-works>. Acesso em: 05 de nov. de 2022.

AVIATION Emissions, Impacts & mitigation: A primer. **Federal Aviation Administration**. 2015. Disponível em:< [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/policy\\_guidance/envir\\_policy/media/primer\\_jan2015.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/primer_jan2015.pdf). Acesso em: 05 de nov. de 2022.

WHAT is sustainable aviation fuel SAF. **Air BP**. 2022. Disponível em:< <https://www.bp.com/en/global/air-bp/news-and-views/views/what-is-sustainable-aviation-fuel-saf-and-why-is-it-important.html>. Acesso em: 04 de nov. de 2022.

DEVELOPING Sustainable Aviation Fuel SAF. **IATA**. c2022. Disponível em:< <https://www.iata.org/en/programs/environment/sustainable-aviation-fuels/>. Acesso em: 03 de nov. de 2022

EMBRAER apresenta Ipanema 203 preparado para Certificação Aeroagrícola Sustentável. **Aero magazine**. 2017. Disponível em:< [https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/embraer-apresenta-ipanema-203-preparado-para-certificacao-aeroagricola-sustentavel\\_3463.html](https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/embraer-apresenta-ipanema-203-preparado-para-certificacao-aeroagricola-sustentavel_3463.html). Acesso em: 05 de nov. de 2022.

HONEYWELL Hydrogen Fuel Cell. **Aerospace Honeywell**. c2022. Disponível em:< <https://aerospace.honeywell.com/us/en/products-and-services/product/hardware-and-systems/honeywell-hydrogen-fuel-cell>. Acesso em: 04 de nov. de 2022

ELETRIC Flight. **Airbus**. c2022. Disponível em:< <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/electric-flight>. Acesso em 05 de nov. de 2022.

