

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

DAVID DANIEL SOUSA OLIVEIRA

HUGO DA COSTA MARTINS

MATHEUS MATOS KASTRUP

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE VEÍCULOS AUTOMOTIVOS
ELÉTRICOS, HÍBRIDOS E *DOWNSIZING* DE MOTORES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RIO DE JANEIRO

2022

DAVID DANIEL SOUSA OLIVEIRA

HUGO DA COSTA MARTINS

MATHEUS MATOS KASTRUP

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE VEÍCULOS AUTOMOTIVOS
ELÉTRICOS, HÍBRIDOS E *DOWNSIZING* DE MOTORES**

Projeto final apresentado em cumprimento às normas do Departamento de Educação Superior do CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Professor Orientador: Prof. Me. Sylvio Jose Gomes Magrani.

RIO DE JANEIRO

2022

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

O48 Oliveira, David Daniel Sousa
Análise comparativa entre veículos automotivos elétricos,
híbridos e downsizing de motores / David Daniel Sousa Oliveira,
Hugo da Costa Martins [e] Matheus Matos Kastrup – 2022.
51f.: il. color. , enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2022.

Bibliografia: f. 47-51

Orientador: Sylvio Jose Gomes Magrani

1. Engenharia mecânica. 2. Motores elétricos. 3. Motores
híbridos. I. Martins, Hugo da Costa II. Kastrup, Matheus Matos.
III. Magrani, Sylvio Jose Gomes (Orient.). IV. Título.

CDD 620.1

Dedicamos esse trabalho à nossa família e
amigos por todo suporte e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos pais (Cleide, Damião, Mirian, Cláudio, Claudia, Carlos) por terem nos dado suporte e motivação ao longo dessa jornada, e nos ensinado o valor do estudo, da dedicação, do amor incondicional e por muitas vezes terem se anulado em prol de nós, sem eles nada disso seria possível.

À nossa família pelas horas de descontração, por entenderem que nem sempre era possível estar presente.

Aos nossos amigos, por sempre estarem dispostos a nos ajudar nos momentos em que mais precisamos.

Ao professor Me. Sylvio Jose Gomes Magrani por ter nos orientado nesse projeto final.

Um agradecimento especial aos meus amigos que foram os principais responsáveis por chegarmos juntos ao final dessa caminhada e por muitas vezes não permitir que desistisse.

E, por fim, agradecemos a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste projeto, nossos professores e colegas de trabalho por todo ensinamento.

A competitividade de um país não começa
nas indústrias ou nos laboratórios de
engenharia. Ela começa na sala de aula.

(LEE, Laccoca)

RESUMO

OLIVEIRA, David. MARTINS, Hugo. KASTRUP, Matheus. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE VEÍCULOS AUTOMOTIVOS ELÉTRICOS, HÍBRIDOS E *DOWNSIZING* DE MOTORES**, 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro, 2022.

Ao longo de sua história, os veículos automotivos foram movidos, inicialmente, a vapor, a eletricidade, a etanol, a gasolina, além de outros combustíveis gasosos, como gás natural e propano. Com o desenvolvimento da indústria petrolífera, os combustíveis derivados do petróleo dominaram o mercado, tendo a gasolina como o principal combustível não só no Brasil, como no mundo. Com uma maior consciência ambiental, preocupação com uma futura escassez do petróleo e uma necessidade cada vez maior de motores eficientes, governos e organizações como a ONU (Organização das Nações Unidas) estão pressionando cada vez mais para adoção de práticas com menor impacto ao meio ambiente.

Após praticamente um século, os veículos elétricos estão reaparecendo e o presente trabalho tem como objetivo abordar os tipos de motores de combustão interna com sua evolução tecnológica, veículos elétricos, assim como seus modelos híbridos e com isso analisar e discutir a melhor opção para o Brasil, mostrando as vantagens e desvantagens e o caminho a ser percorrido pelo país tendo como ponto de partida o cenário atual. Com as análises das características econômicas, operacionais, do cenário político, concluímos que atualmente é extremamente improvável um crescimento em grande escala de veículos cem por cento elétricos no Brasil, tendo os veículos híbridos como uma opção mais viável para um futuro próximo.

Palavras-Chave: Motores. *Downsizing*, Elétrico. Híbrido, Emissões.

ABSTRACT

MARTINS, Hugo. KASTRUP, Matheus. SOUSA, David. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE VEÍCULOS AUTOMOTIVOS ELÉTRICOS, HÍBRIDOS E DOWNSIZING DE MOTORES**, 2022. Trabalho de Conclusão de Curso –Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro, 2022.

Throughout their history, automotive vehicles have been powered, initially, by steam, electricity, ethanol, gasoline and gaseous fuels such as natural gas and propane. With the development of the oil industry, petroleum-derived fuels dominated the market, with gasoline as the main fuel not only in Brazil, but in the whole world. Due to the greater environmental awareness and concern over future oil shortage, more efficient engines became mandatory, thus, governments and organizations such as the UNO are increasingly pushing for the adoption of practices with less impact on the environment.

After almost a century, electric vehicles are re-emerging and the present work aims at approaching the types of internal combustion engines with their technological evolution, electric vehicles, as well as their hybrid models, and thereby analyze and discuss the best option for Brazil, showing the advantages and disadvantages and the way forward for the country under the current scenario. Taking into consideration analysis of the economic aspects, operational and government incentives, we conclude that a large-scale growth of 100% electric vehicles in Brazil is currently extremely unlikely today, with hybrid vehicles as a more viable option for the near future.

Keywords: *Engines. Downsizing. Electric. Hybrid, Emissions.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MOTOR OTTO E LANGEN 1867.....	4
FIGURA 2 - MCI DE OTTO, PARIS 1876	5
FIGURA 3 - DIAGRAMA PV DO CICLO OTTO TEÓRICO.....	5
FIGURA 4 - PARTES DE UM MOTOR CICLO OTTO	6
FIGURA 5 - 1ª TEMPO DO MOTOR CICLO OTTO	7
FIGURA 6 - 2ª TEMPO DO MOTOR CICLO OTTO	7
FIGURA 7 - 3ª TEMPO DO MOTOR CICLO OTTO	8
FIGURA 8 - 4ª TEMPO DO MOTOR CICLO OTTO	8
FIGURA 9 - MOTOR DE DOIS TEMPOS, CICLO OTTO.....	9
FIGURA 10 - SISTEMA DE ADMISSÃO.....	10
FIGURA 11 - COLETOR DE ADMISSÃO PLÁSTICO	11
FIGURA 12 - FUNCIONAMENTO DO CARBURADOR SIMPLES	12
FIGURA 13 - INJEÇÃO INDIRETA	13
FIGURA 14 - MITSUBISHI GALANT 1.8 4G93 GDI.....	14
FIGURA 15 - INJEÇÃO DIRETA	15
FIGURA 16 – COMPRESSOR MECÂNICO.....	16
FIGURA 17 - TURBOCOMPRESSOR.....	17
FIGURA 18 - FUNCIONAMENTO DO TURBOCOMPRESSOR.....	17
FIGURA 19 – PARTICIPAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS PELO MODO RODOVIÁRIO NO BRASIL	20
FIGURA 20 – CONSUMO TOTAL DE ENERGIA POR TRANSPORTES ENTRE 1990 A 2020	23
FIGURA 21 – ACUMULADO DAS EMISSÕES DE CO2	24
FIGURA 22 - EMISSÕES ANUAIS DE CO2 POR QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FOSSEIS.....	24
FIGURA 23 - FORD ECOBOOST 1.0 3 CILINDROS TURBO 120 CV.....	25
FIGURA 24 – EVOLUÇÃO DA ADOÇÃO DO DOWNSIZING X CRESCIMENTO DE POTÊNCIA E TORQUE ESPECÍFICOS NO BRASIL.	26
FIGURA 25- HÍBRIDOS DE ACORDO COM O TIPO DE TRAÇÃO	27
FIGURA 26-HÍBRIDOS DE ACORDO COM O TIPO DE TRAÇÃO	28
FIGURA 27-HÍBRIDOS DE ACORDO COM O TIPO DE TRAÇÃO	29
FIGURA 28-TIMELINE DA MOBILIDADE ELÉTRICA NO MUNDO	32
FIGURA 29- COMPONENTES BÁSICOS DO MOTOR ELÉTRICO (ESTATOR E ROTOR).....	33
FIGURA 30 –PERCENTUAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS PARA OS CENÁRIOS INERCIAL E PROTAGONISMO DE BICOMBUSTÍVEIS.....	41
FIGURA 31 - VENDAS TOTAIS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E PORCENTAGEM FRENTE AO MERCADO GLOBAL DURANTE OS ANOS.	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPARATIVO ENTRE VEÍCULOS COM DIFERENTES SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL	18
TABELA 2 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO ETANOL QUANDO COMPARADO A GASOLINA.	21
TABELA 3 – GASES EMITIDOS POR MCI E SUAS CONSEQUÊNCIAS.....	22
TABELA 4 – COMPARATIVO ENTRE FORD FUSION HYBRID E O FORD FUSION TURBO FWD	27
TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS DE UM VEÍCULO HÍBRIDO	28
TABELA 6 – TIPOS DE BATERIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS	35
TABELA 7 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE VEÍCULOS ELÉTRICOS, HÍBRIDOS E MCI.....	37
TABELA 8 - ESTAÇÕES DE RECARGA DA VIA DUTRA	43
TABELA 9- COMPARATIVO ENTRE CARROS ELÉTRICOS X HÍBRIDOS X COMBUSTÃO	44

LISTA DE SÍMBOLOS

cm ³	Centímetros cúbicos
kgf.m	Quilograma-força metro
km/l	Quilômetro por litro
km/h	Quilômetro por hora
kWh	Quilowatt hora

LISTA DE SIGLAS

MCI	Motor de Combustão Interna
CV	Cavalo a Vapor
CO ₂	Dióxido de Carbono
Km	Quilômetro
PMS	Ponto Morto Superior
PMI	Ponto Morto Inferior
IPI	Imposto sobre produtos industrializados
OMS	Organização Mundial da Saúde
CO	Monóxido de Carbono
NO _x	Óxidos de nitrogênio
HC	Hidrocarbonetos
SO _x	Óxidos de enxofre
MP	Material particulado
ONU	Organização das Nações Unidas
GNV	Gás natural veicular
GDI	Gasoline Direct Injection
RPM	Rotação por minuto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVO.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 HISTÓRICO DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA	3
2.1.1 Motores ciclo Otto	4
2.1.2 Evolução do sistema de admissão	10
2.1.2.1 Carburador	11
2.1.2.2 Injeção indireta	13
2.1.2.3 Injeção direta	14
2.1.2.4 Sobrealimentação	16
2.1.2.5 Compressor mecânico	16
2.1.2.6 Turbocompressor	16
2.1.3 Combustíveis.....	19
2.1.4 Emissões	21
2.2 <i> Downsizing</i> DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	25
2.3 VEÍCULOS HÍBRIDOS	26
2.3.1 Veículos híbridos em série.....	27

2.3.2	Veículos híbridos em paralelo.....	28
2.3.3	Veículos híbridos misto	29
2.3.4	Potência dos veículos híbridos.....	29
2.4	VEICULOS ELÉTRICOS.....	30
2.4.1	Modo de funcionamento.....	33
2.4.2	Características técnicas dos motores elétricos.....	33
2.4.2.1	Motor de corrente contínua	33
2.4.2.2	Motor de indução.....	33
2.4.2.3	Motor síncrono de ímãs permanentes	34
2.4.2.4	Motor de relutância	34
2.4.3	Armazenamento de energia	34
3.	ANÁLISE COMPARATIVAS ENTRE OS MOTORES ESTUDADOS	37
3.1	COMPARAÇÕES ENTRE OS SISTEMAS DE PROPULSÃO EM VEÍCULOS LEVES.....	37
4.	DISCUSSÕES	40
4.1	MELHOR ALTERNATIVA PARA O BRASIL	45
5.	CONCLUSÃO.....	46
6.	BIBLIOGRAFIA	47

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, as preocupações relacionadas às emissões de poluentes têm aumentado, estimulando assim o desenvolvimento de novas tecnologias que possam reduzi-las. Um dos setores em constante evolução, é o automobilístico, que devido a programas governamentais de incentivo à inovação tecnológica, como o Rota 2030, vem desenvolvendo novos caminhos em busca de um melhor aproveitamento energético.

Diante dos problemas ecológicos e de eficiência energética gerados de veículos movidos por motores de combustão interna, veículos com motores elétricos e híbridos estão cada vez mais se consolidando como tendência no mercado. Outra alternativa que vem se destacando bastante, é o *downsizing* de MCI, no qual implica na redução do tamanho dos motores. Todas essas opções podem se tornar soluções viáveis para atender exigências do mercado e do governo em relação a performance dos veículos e aos impactos ambientais.

Um dos grandes desafios para tornar essas alternativas factíveis em um curto/médio prazo, que impactam grande parte da população, são os combustíveis e os tipos de fontes de energias utilizados por esses veículos. Atualmente o principal combustível fóssil utilizado em veículos leves ainda é a gasolina, que tem previsto para 2040 o seu pico de consumo (Automotiva, 2020). É importante buscar novas modalidades energéticas, como por exemplo na Fórmula 1, que tem uma expectativa de ter um combustível cem por cento sustentável até 2025 (Formula 1 ®, 2021), que será produzido de acordo com um esquema de sequestro de carbono, utilizando lixo municipal ou mesmo biomassas (restos agrícolas). Outro exemplo ocorre no Brasil, onde há a produção do álcool etílico, mais conhecido como etanol, sendo uma substância pura que é gerada a partir da cana-de-açúcar e com diversas vantagens quando comparado com os combustíveis fósseis, como por exemplo poluir menos além de ser uma fonte renovável.

O desenvolvimento de novas fontes energéticas e de novos veículos somente será eficaz, se for planejado e executado com o equilíbrio dos fatores econômicos, sociais e ambientais, pois o meio ambiente é afetado por toda atividade humana. Assim como deve ser considerado os fatores de cada país, procurando ser sustentável de acordo com as suas matrizes energéticas. No ciclo energético, deve-se considerar todo o processo, desde a extração ou geração, passando pelas etapas intermediárias de transformação, pelo transporte, pelo seu uso, até chegar ao tratamento, descarte ou reciclagem final dos resíduos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente o setor de transporte é responsável por quase um quarto das emissões globais de gases de efeito estufa relacionadas à energia. Especificamente, além dos gases de efeito estufa como o CO₂, as emissões dos veículos são uma fonte significativa de partículas finas e óxidos de nitrogênio, as principais causas da poluição do ar urbano.

Além de buscarmos uma alternativa ecologicamente sustentável, também encontramos diversas vantagens em motores elétricos e híbridos, como por exemplo, maior economia, uma vez que com os atuais preços dos combustíveis, é muito mais econômico realizar a recarga de uma bateria do que encher um tanque de gasolina. Outro ponto favorável é requerer uma menor manutenção, uma vez que motores elétricos não possuem os mesmos componentes e peças como caixa de câmbio, correias, velas de ignição, troca de óleo, etc. O governo federal e os governos estaduais oferecem alíquotas de impostos reduzidas para veículos elétricos. Em São Paulo o valor do IPVA é reduzido em 40%, enquanto no Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte, Maranhão, Piauí e Pernambuco é oferecida isenção total. Dependendo da eficiência energética, o IPI pode ser reduzido de 7% até 20% sobre veículos elétricos e o imposto sobre importação de veículos elétricos foi zerado, para incentivar o mesmo. (Uol, 2018)

1.2 OBJETIVO

A presente proposta tem como objetivo abordar as alternativas que vêm sendo implantadas pelos diversos países (veículos elétricos, híbridos e downsizing) e mediante um comparativo, envolvendo prós e contras de cada uma, propor a alternativa mais adequada ao Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Os primeiros motores de combustão interna surgiram no século XIX. O fato de a combustão ocorrer diretamente dentro do motor, trouxe um exponencial desenvolvimento na área mecânica. Os motores a combustão interna tinham como vantagens em relação aos motores a vapor da época, onde era utilizada lenha como combustível, a sua versatilidade, menor peso por potência, partida rápida e capacidade de acionar diferentes tipos de máquinas da época.

Em 1860, se deu a primeira construção do motor a combustão interna pelo engenheiro belga Étienne Lenoir, movido a gás. Sua construção era semelhante a um motor a vapor horizontal de dupla ação, com cilindros, pistões, bielas, um volante e ignição feita por centelha elétrica. Esse foi o primeiro motor a combustão interna fabricado em série.

Partindo do mesmo princípio, em 1862, um engenheiro francês chamado Alphonse Beau de Rochas patenteou um modelo de motor de quatro tempos. Este modelo aparentava um ótimo desempenho de acordo com os seguintes aspectos (Tillmann, 2013):

- A relação superfície/volume para o cilindro do pistão era menor que as demais;
- O seu processo de expansão era feito de forma mais rápida;
- Obtinha a máxima expansão;
- Máxima pressão obtida no início do processo de expansão dos gases no cilindro.

Beau de Rochas, foi o responsável pela indicação de como seria o método de operação de um MCI, no que se tornou mais utilizado, que consiste em quatro fases.

- Admissão;
- Compressão;
- Combustão/Expansão;
- Exaustão.

2.1.1 Motores ciclo Otto

Em 1867, Nikolaus Otto e Eugen Langen, patentaram o seu primeiro motor a gás ou mais conhecido como, motor de quatro tempos, apresentado na Exposição Industrial de Paris. Seu diferencial com relação ao propulsor anterior se devia a característica de ser desenvolvido com “pistões livres” de ação indireta, aos quais eram impulsionados pelas explosões dos gases no cilindro. Esse pistão era conectado a um volante, por meio de uma cremalheira e engrenagem, como apresenta a **Figura 1**. Quando o pistão retornava, era executado o trabalho mecânico. Sua eficiência comparada ao de Lenoir, era bem superior, pois atingiu 11% como valor máximo obtido, enquanto o de Lenoir beirava os 5% de eficiência.

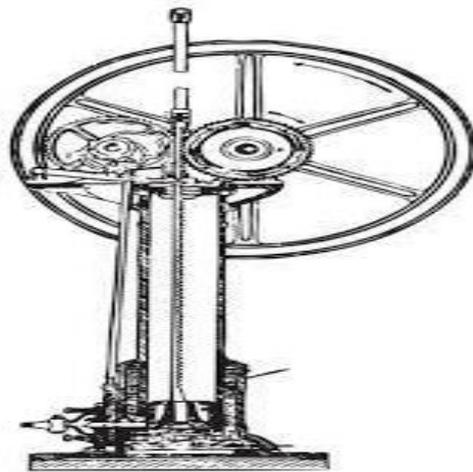


Figura 1 - Motor Otto e Langen 1867.

Fonte: (Nebras, 2003)

No ano de 1876, Nicolaus Otto, apresentava um motor de quatro cilindros, de acordo com conceitos definidos por Beau de Rochas em 1862. O motor apresentado era mais compacto e com um peso relativamente leve, comparado ao anterior, com sua eficiência aumentada em 3% em relação ao de 1867. Seus aspectos básicos são praticamente os mesmos vistos nos motores atuais.

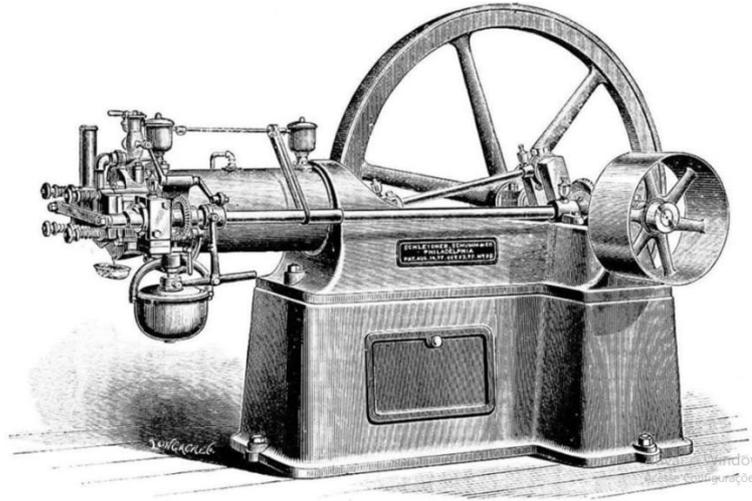


Figura 2 - MCI de Otto, Paris 1876.

Fonte: (Aquela Maquina, 2017)

Os primeiros modelos criados eram movidos a gás e somente depois de alguns anos foram aperfeiçoados os motores a gasolina. O ciclo teórico apresentado na **Figura 3** nomeado como ciclo Otto, é constituído de quatro processos:

- AB - Processo de Compressão Adiabática;
- BC - Processo de Aquecimento Isométrico;
- CD - Processo de Expansão Adiabática
- DA - Processo de Rejeição Isométrica de Calor;

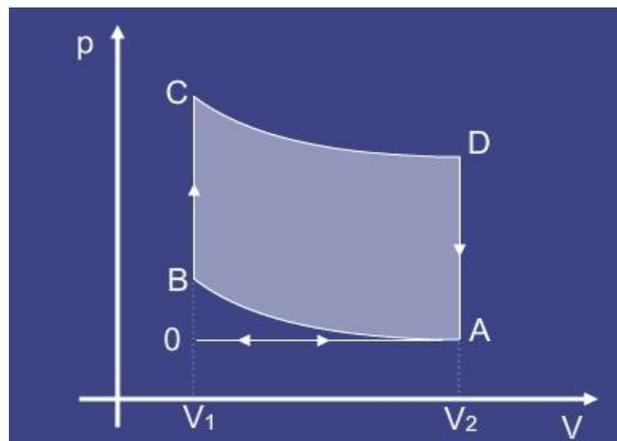


Figura 3 - Diagrama pV do Ciclo Otto teórico.

Fonte: (Lang, 2001)

Na **Figura 4**, temos os componentes típicos de um motor ciclo Otto. Dentre os componentes que compõe o motor, temos as válvulas (que controlam a entrada e a exaustão do ar ou de mistura carburante e dos gases resultantes da combustão), o sistema de acionamento e sincronismo de abertura e fechamento das válvulas, o conjunto pistão-biela- virabrequim que transmite energia mecânica para a caixa de câmbio e desta para as rodas. Por fim, a vela que emite faísca que dá o início da combustão.

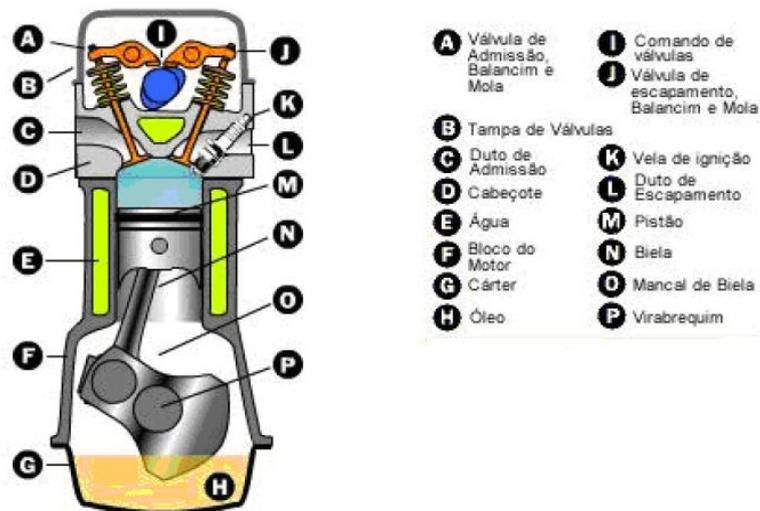


Figura 4 - Partes de um motor ciclo Otto.

Fonte: (Centro Automotivo, 2018)

Um MCI operando em quatro tempos, apresenta a seguinte sequência de funcionamento:

Na primeira etapa (admissão), aspira uma mistura gasosa de ar e combustível para o interior do cilindro à medida que o pistão se move do ponto morto superior para o ponto morto inferior. Com isso, efetua-se meia volta do virabrequim.

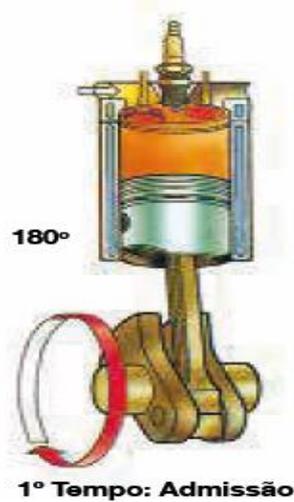


Figura 5 - 1ª Tempo do motor ciclo Otto.

Fonte: (Mahle, 2019)

Na segunda etapa ocorre a compressão. Nesta, quando o cilindro chega ao PMI, estará cheio com a mistura ar/combustível e a válvula de admissão que antes estava aberta, durante o primeiro tempo, fecha-se, após esse processo, ocorre outra meia volta do virabrequim, realizando a primeira volta completa.

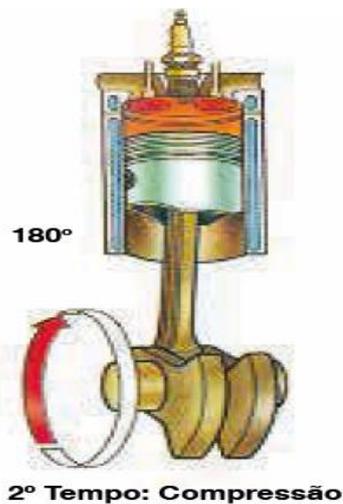


Figura 6 - 2ª Tempo do motor ciclo Otto.

Fonte: (Mahle, 2019)

A seguir, na terceira etapa, ao término da compressão, uma centelha elétrica na vela de ignição ocasiona a combustão da mistura e conseqüentemente a sua expansão, resultando em outra meia volta do virabrequim.

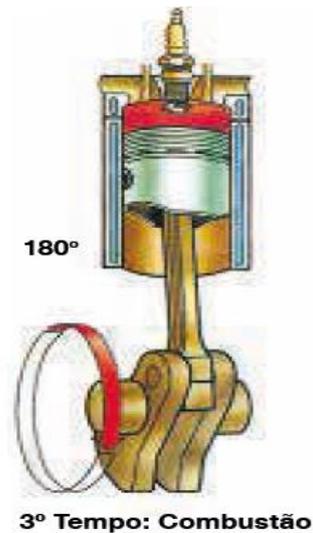


Figura 7 - 3ª Tempo do motor ciclo Otto.

Fonte: (Mahle, 2019)

Após a expansão, ocorre o quarto e último tempo, quando a válvula de saída se abre, e ocorre a exaustão do gás queimado na combustão. O virabrequim com isso, efetua outra meia volta, finalizando a segunda volta completa.

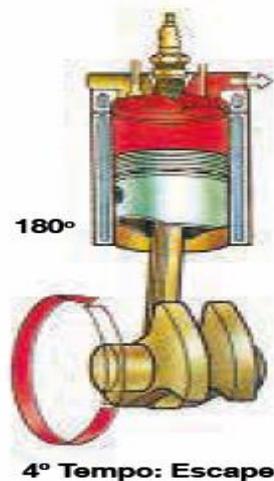


Figura 8 - 4ª Tempo do motor ciclo Otto.

Fonte: (Mahle, 2019)

Além do motor alternativo de quatro tempos, existem também os motores a dois tempos. Os motores deste tipo combinam as funções de um motor de quatro tempos em apenas dois, portanto, a cada volta do virabrequim ocorre um ciclo de admissão, compressão, combustão e exaustão dos gases.

O primeiro tempo pode ser definido considerando o pistão no PMS e a mistura comprimida no cilindro produzindo assim a rarefação no cárter (combustível e óleo lubrificante), em seguida ocorre a ignição e a combustão da mistura, finalizando o primeiro tempo.

No segundo tempo, os gases gerados da combustão se expandem fazendo o pistão descer, comprimindo com isso a mistura no cárter. O pistão em seguida abre a janela de exaustão permitindo a saída dos gases queimados.

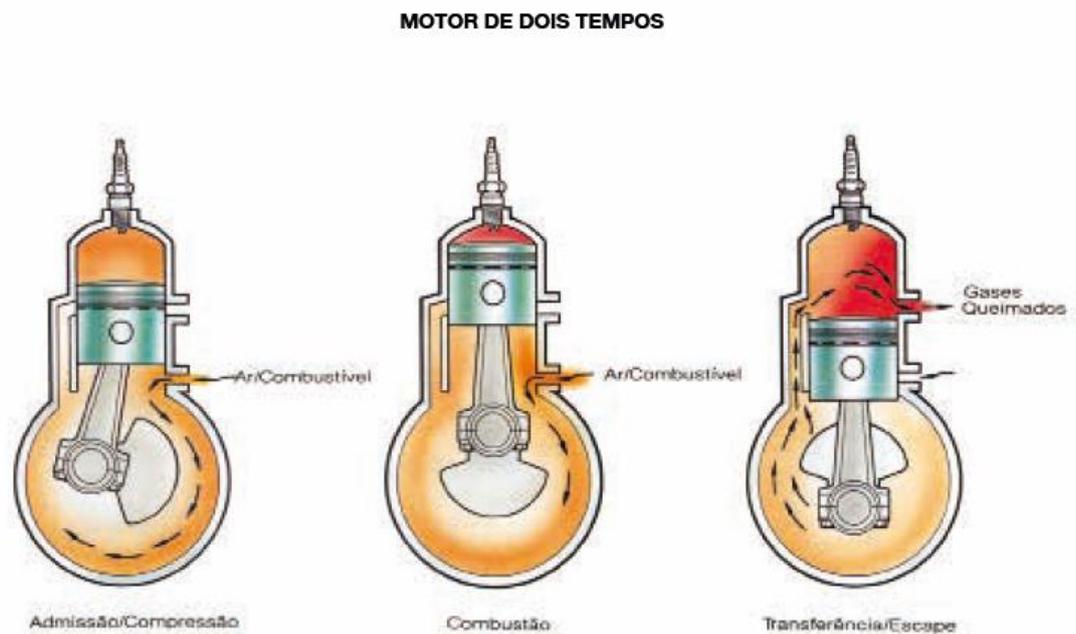


Figura 9 - Motor de dois tempos, ciclo Otto.

Fonte: (Mahle, 2019)

Entre a década de 60 á 80, esses motores eram utilizados em alguns modelos de veículos, assim como motocicletas, porém, atualmente são mais utilizados em equipamentos de menor porte, como, drones, aeromodelos, jet skis, karts, entre outros. Isso é devido as atuais exigências ambientais. Um motor de dois tempos pode ter grande alteração de desempenho quando exigido a mudanças bruscas de rotação, altitude, temperatura, carga, dentre outros fatores, além de ser altamente poluente, pois esse tipo de propulsor demanda da mistura de óleo no combustível, como não possui sistema fechado de lubrificação por bomba de óleo, ela é feita pelo próprio combustível ou por dispositivo dosador. Em suma, devido as exigências ambientais, sua baixa eficiência e alta poluição, o torna inviável em aplicações automotivas.

Entretanto, uma das vantagens dos motores de dois tempos vem do seu baixo peso e consequentemente o seu tamanho, facilitando sua aplicação em veículos compactos, como karts e cortadores de gramas, assim como um baixo custo de produção e manutenção, como consequência natural da menor quantidade de componentes e simplicidade técnica, além de gerar o dobro de potência de um motor de quatro tempos por exemplo, já que encerram um ciclo completo com apenas uma volta do virabrequim, enquanto que os de quatro tempos necessitam de duas voltas para obter um ciclo completo.

2.1.2 Evolução do sistema de admissão

Desde sua criação, o MCI ciclo Otto, se tornou um dos motores mais utilizados na indústria automobilística. Com o passar dos anos, esse motor foi evoluindo com os sucessivos investimentos por parte das montadoras, que criaram novas tecnologias, com melhorias nos sistemas que compõe o motor, como por exemplo, o sistema de admissão, que começa no momento em que o pistão se encontra no ponto morto superior (PMS).



Figura 10 - Sistema de Admissão.

Fonte: (Molina Jr, 2016)

O sistema de admissão é um componente muito importante de um motor de combustão interna. É importante lembrar que a compressão dentro dos cilindros do motor é a grande responsável por determinar a potência do motor, sendo por esse sistema que passa todo o ar/mistura que será aproveitado na etapa de combustão, fazendo-se necessário manter um fluxo constante e uniforme dos gases. Quando a mistura de ar e combustível é comprimida pelo pistão, a pressão aplicada antes da combustão vai ditar a força com a qual o pistão será empurrado, dando movimento para o carro.

Antigamente os coletores de admissão eram fabricados por fundição, em ferro fundido, aço ou alumínio. Porém esses componentes possuíam formas complexas, e possuíam no interior de seus tubos superfícies rugosas, dificultando o fluxo de ar. Uma das soluções foi utilizar polímeros para a fabricação desses componentes, pois os coletores feitos de plásticos reduziram as perdas por atrito ao mesmo tempo possibilitando uma grande redução no peso do componente.



Figura 11 - Coletor de admissão plástico.

Fonte: (Toronto Auto Peças, 2021)

Aspirando melhor, o motor possui uma resposta mais imediata quando solicitado, não sendo necessário pressionar de forma brusca o acelerador do veículo, constituindo assim como um componente crucial para aumentar o desempenho e a eficiência, reduzindo poluentes e o consumo de combustível.

2.1.2.1 Carburador

O carburador foi apresentado pela primeira vez em 1883 pelos húngaros Donát Banki e János Csonka, porém só foram utilizados em 1896, na Inglaterra.

Desde os primeiros motores construídos, o carburador foi o responsável pela dosagem de combustível a ser queimado, não podendo ser considerado um sistema de injeção de combustível, pois não possui bicos injetores.

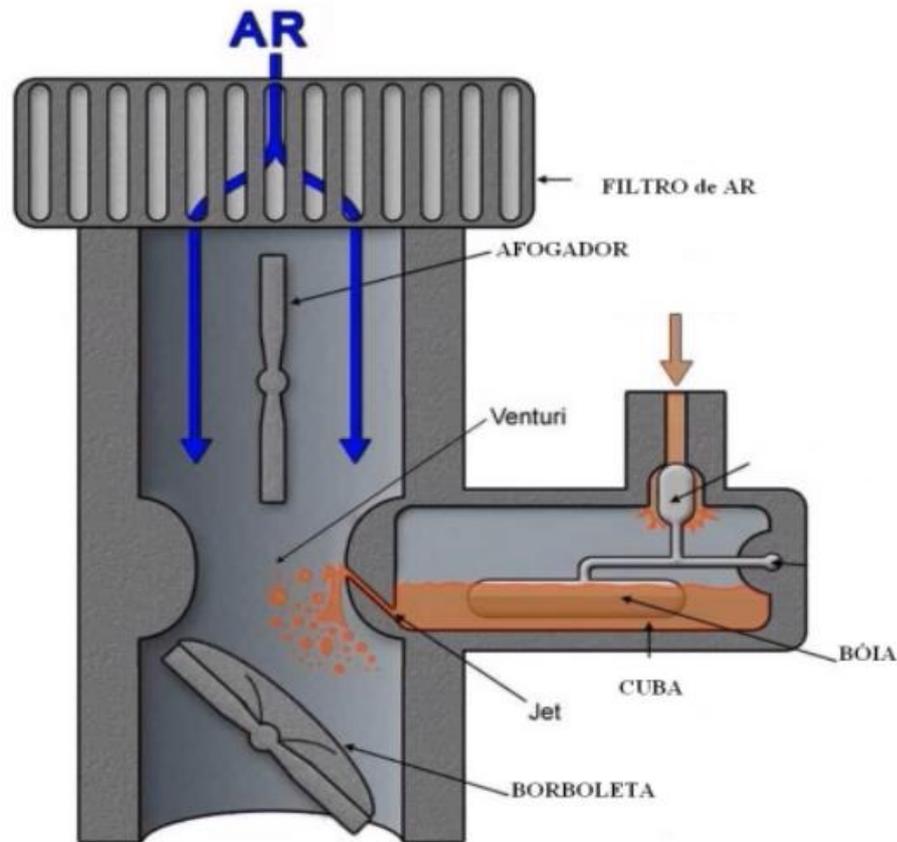


Figura 12 - Funcionamento do carburador simples.

Fonte: (Engineering Learn, 2021) adaptado pelo autor.

No carburador, o combustível é bombeado entrando pela válvula da boia que regula a quantidade de combustível dentro da cuba, como representado na **Figura 12**. Através do corpo do carburador (Venturi), o ar é aspirado pelo pistão passando em alta velocidade pelo difusor que aspira o combustível que vem da cuba. A válvula borboleta é responsável por controlar o fluxo de ar e o acelerador através do cabo se encarrega de controlar a válvula borboleta, sendo assim um sistema em conjunto. A quantidade de combustível fornecida pelo carburador é controlada pelo gicleur, que tem um furo calibrado por onde é aspirado o combustível pelo vácuo do motor, produzindo então a mistura carburante que chega aos cilindros.

Durante o século XX, o carburador foi utilizado por todas as fabricantes de motores, graças a sua facilidade de produção, manutenção, instalação e a um baixo custo. Embora tenha sofrido diversas modernizações, o mesmo não obteve sucesso em conseguir reduzir a níveis toleráveis a emissão de poluentes, sendo assim substituído pela injeção eletrônica.

2.1.2.2 Injeção indireta

Com a evolução dos motores a combustão interna e pressões governamentais para uma redução drástica nas emissões de gases poluentes e economia de combustível, o carburador foi substituído pela injeção eletrônica de combustível, proporcionando um melhor rendimento e conseqüentemente um menor consumo de combustível e menor nível de emissões.

Na injeção indireta, a mistura de combustível ocorre no sistema de admissão do ar, antes de entrar na câmara de combustão, enviando assim, de maneira controlada, o combustível ao motor do veículo. O equilíbrio dessa injeção vem da central eletrônica, que mapeia o funcionamento do motor, ajustando assim a alimentação, para que se tenha um desempenho e eficiência melhor, comparada aos motores carburados



Figura 13 - Injeção indireta.

Fonte: (AutoEsporte, 2019)

Esse sistema é composto por três grandes componentes: atuadores, sensores e a central de controle.

De forma simplificada, os atuadores são encarregados pelas correções que sejam necessárias para garantir o melhor desempenho possível do motor, enquanto os sensores detectam a condição do veículo, e pôr fim a central de controle é encarregada de gerenciar o funcionamento do motor, de acordo com as informações apresentadas pelos sensores.

2.1.2.3 Injeção direta

O sistema de injeção direta só chegou ao território nacional, no início dos anos 2000, porém no fim da década anterior, a Mitsubishi lançou seu sistema GDI (*Gasoline Direct Injection*) no motor 1.8 4G93 do Galant de 1996.



Figura 14 - Mitsubishi Galant 1.8 4G93 GDI.

Fonte: (Drive2, 2018)

Sua vantagem inicial vem com a possibilidade da utilização de alta pressão de injeção do combustível, assim, trabalhando a maiores pressões, garante uma mistura homogênea do combustível e conseqüentemente uma maior eficiência. (BRUNETTI, 2012)



Figura 15 - Injeção direta.

Fonte: (AutoEsporte, 2019)

Nesse sistema, **Figura 15**, a mistura ar/combustível é feita dentro da câmara de combustão. O combustível deve ser injetado com maior pressão, cerca de 150 a 250 bar (AutoEsporte, 2019), para que exista uma mistura homogênea, propiciando assim uma queima mais completa do combustível. A adoção da injeção direta utiliza um bico acoplado diretamente acima da câmara de combustão, pulverizando o combustível no interior do cilindro, sem passar por válvulas, permitindo um controle mais preciso da entrada de combustível na câmara, permitindo a adoção de taxas de compressão mais elevadas e uma queima mais eficiente do combustível injetado, implicando em um ganho de potência e torque,

A utilização do sistema de injeção direta de combustível vem apresentando grandes vantagens em comparação aos sistemas de injeção indireta, principalmente pela maior eficiência térmica. O sistema de injeção direta de combustível permite uma redução de consumo quando comparado ao sistema de injeção indireta aplicada em um motor de mesma cilindrada e maior desempenho em valores de torque. Além disso, a injeção direta permite respostas mais imediatas às acelerações.

A principal diferença entre a injeção direta e indireta é o local onde acontece a mistura entre o combustível e o ar. Na injeção direta, isso ocorre na câmara de combustão, já na

injeção indireta, a mistura acontece no sistema de admissão do ar, antes de entrar na câmara de combustão, não garantindo uma mistura tão homogênea quando comparado com a injeção direta.

2.1.2.4 Sobrealimentação

Sobrealimentação é um termo no qual se refere a um aumento da quantidade de ar dentro dos cilindros, aumentando assim a mistura de combustível, já que a quantidade de combustível é limitada pela de ar disponível. Sobrealimentar um motor consiste em aumentar a densidade de ar por meio do aumento da pressão antes da entrada no cilindro, graças a isso, a massa de ar em um mesmo volume é maior.

A sobrealimentação pode ser realizada através dos compressores mecânicos e dos turbocompressores, onde a principal diferença entre eles se dá na fonte de energia utilizada para o acionamento.

2.1.2.5 Compressor mecânico

Os compressores mecânicos são acionados mecanicamente por um conjunto de polias acopladas ao eixo virabrequim (eixo de manivelas). De acordo com (BRUNETTI, 2012), a maior desvantagem desse sistema está nesse acionamento, pois o consumo de potência do motor pode chegar a ser 15% da potência efetiva.



Figura 16 – Compressor mecânico.

Fonte: (Jaguar Daimler Club Holland, 2021)

2.1.2.6 Turbocompressor

No início do século XX, o engenheiro suíço chamado Alfred Büchi, patenteou a tecnologia da turboalimentação. Ele acreditava que os motores de combustão interna não eram eficientes o suficiente e iniciou pesquisas para descobrir uma forma de aperfeiçoá-los. Com um turboalimentador, a potência do motor é aumentada, enquanto as emissões, o consumo de combustível e os custos são reduzidos (Mayer, 2001).

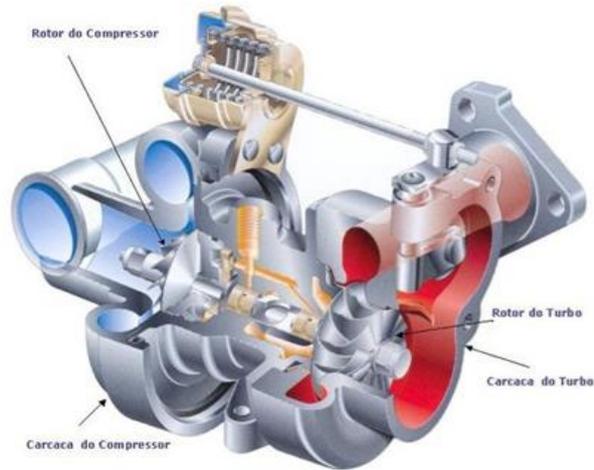


Figura 17 – Turbocompressor.

Fonte: Adaptado pelos autores.

No Brasil, a Fiat foi a primeira montadora a introduzir esse tipo de motor, durante a década de 90, com o seu modelo Uno Turbo, com um motor 1.4 l (1400 cm³) Turbo de 116 cv e 17 kgf.m de torque. (Noticias Automotivas, 2019)

O princípio de funcionamento dos turbocompressores, se baseia na utilização da energia cinética dos gases de escape do motor para girar a turbina, a qual aciona o compressor através de um eixo, captando assim o ar da atmosfera e comprimindo antes de ser admitido pelo motor, conforme a **Figura 18**

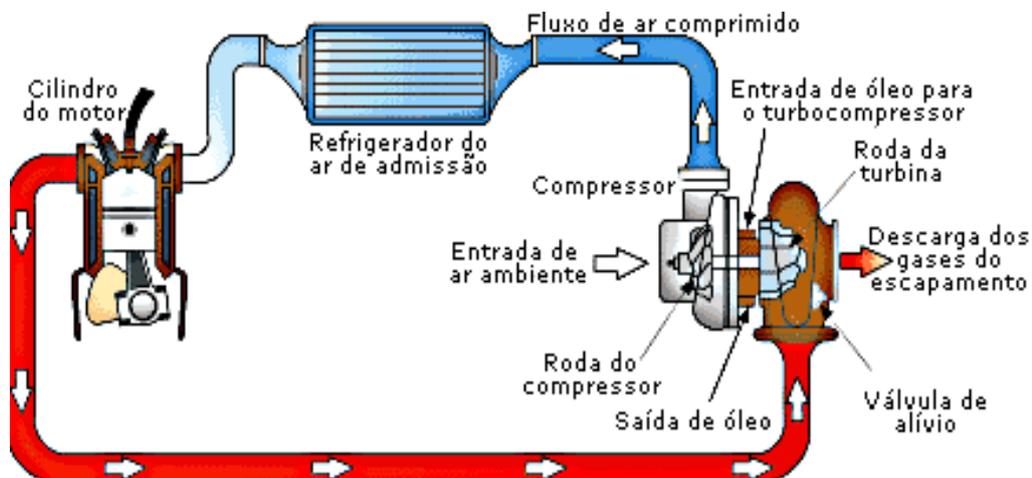


Figura 18 - Funcionamento do turbocompressor.

Fonte: Adaptado pelos autores.

Nos primeiros turbocompressores projetados era necessário que o motor tivesse uma certa rotação e carga para que o compressor pudesse gerar pressão positiva no coletor de admissão, aumentando assim a massa de ar que o motor admitiria, melhorando consequentemente seu desempenho e eficiência. Contudo, nos sistemas atuais, esse problema

foi solucionado, com o motor conseguindo atingir torque máximo desde baixas rotações, isso se traduz em menor consumo de combustível e por consequência menor emissão de gases poluentes na atmosfera.

Sobrealimentando-se um motor, pode se obter um acréscimo de até 20% a sua potência, não precisando reprojeta-lo para tal (BRUNETTI, 2012). Desta forma, em comparação com os motores de maiores cilindradas, o uso do turbocompressor em motores de baixa cilindrada, podem trazer benefícios significativos, de forma que um veículo leve impulsionado por esse motor tenha o mesmo desempenho de um com motor aspirado de cilindrada maior, porém, com um consumo menor de combustível.

Tabela 1 – Comparativo entre veículos com diferentes sistemas de alimentação de combustível.

Comparativo entre veículos com diferentes sistemas de alimentação de combustível					
					
Ano:	1992	Ano:	2020	Ano:	2020
Modelo:	Fiat Uno Mille 1.0	Modelo:	Volkswagen Gol 1.0	Modelo:	Volkswagen Up Connect 1.0 Tsi
Combustível:	Gasolina	Combustível:	Flex (álcool/gasolina)	Combustível:	Flex (álcool/gasolina)
Cilindros:	4 em linha	Cilindros:	3 em linha	Cilindros:	3 em linha
Válvulas por cilindro:	2	Válvulas por cilindro:	4	Válvulas por cilindro:	4
Razão de compressão:	8,6:1	Razão de compressão:	11,5:1	Razão de compressão:	10,5:1
Cilindrada:	994 cm ³	Cilindrada:	999 cm ³	Cilindrada:	999 cm ³
Peso/potência:	17,4 Kg/cv	Peso/potência:	11,9 kg/cv	Peso/potência:	9,1 kg/cv
Peso/torque:	115,5 kg/kgfm	Peso/torque:	96,3 kg/kgfm	Peso/torque:	56,6 kg/kgfm
Aspiração:	Natural	Aspiração:	Natural	Aspiração:	Turbocompressor
Alimentação:	Carburador	Alimentação:	Injeção indireta	Alimentação:	Injeção direta
Potência máxima:	76 cv a 5750 rpm	Potência máxima:	84 cv (Álcool), 75 cv (Gasolina) a 6350 rpm	Potência máxima:	105 cv (Álcool), 101 cv (Gasolina) a 5000 rpm
Torque máximo:	7,1 kgfm a 3000 rpm	Torque máximo:	10,4 kgfm (Álcool), 9,7 kgfm (Gasolina) a 3000 rpm	Torque máximo:	16,8 kgfm (Álcool), 16,8 kgfm (Gasolina) a 1500 rpm
Torque específico:	7,1 kgfm/litro	Torque específico:	10,4 kgfm/litro	Torque específico:	16,8 kgfm/litro
Potência específica:	47,3 cv/litro	Potência específica:	84,1 cv/litro	Potência específica:	105,1 cv/litro

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com o passar dos anos e a descoberta de novas tecnologias, notamos visivelmente o desenvolvimento e otimização dos diferentes sistemas de alimentação de combustível. Com a injeção direta foi possível obter maiores torques e potência.

2.1.3 Combustíveis

Os combustíveis que são utilizados nos motores de combustão interna estão sendo desenvolvidos desde que o primeiro motor foi criado. Por um longo período, tanto o motor quanto os combustíveis foram desenvolvidos em conjunto.

Mesmo com algumas crises na área do petróleo, a era do petróleo continua e continuará por um bom tempo. Os combustíveis derivados de petróleo ainda serão a principal fonte de energia durante os próximos anos, até que fontes de energias renováveis consigam suprir a demanda. Mesmo que atualmente exista algumas alternativas de combustíveis renováveis, a maioria deles ainda não é uma opção competitiva e ainda necessita de subsídios de alguns países, para que seja incentivado a produção de tais combustíveis.

Segundo a (ANP, 2014), o etanol hidratado (com teor de água equivalente a 5%) e a gasolina comum E (25), comercializada atualmente com a adição de 25% de etanol anidro, são os principais combustíveis utilizados nos veículos leves. Esta porcentagem de etanol anidro diminui para até 20% de acordo com a disponibilidade de etanol ou devido à baixa produção com o período de entressafra da cana de açúcar e também com as exportações de açúcar em alta.

Além de o etanol ser uma fonte renovável de origem vegetal e contribuir para a redução das emissões de CO₂ fóssil, quando comparado à gasolina, em algumas regiões do Brasil é um combustível competitivo, proporcionando um custo por km rodado menor que o da gasolina. A mistura de etanol hidratado e gasolina E (25) é a gasolina padrão atualmente utilizada. A partir de 2002, começaram a surgir os veículos com motores flex, que podem queimar qualquer proporção de mistura etanol mais gasolina graças as novas tecnologias de gerenciamento eletrônico de injeção e controle de ignição de combustível que contribuem para a redução do consumo de combustível e aumento de desempenho (ANFAVEA, 2014).

O uso de etanol hidratado como combustível veicular no Brasil teve início na década de 70 e desde então, teve seus altos e baixos, ao sabor dos incentivos do governo, falta de tecnologia e interesses econômicos. No entanto, em 1986, os automóveis movidos a álcool chegaram a representar 98% das vendas de veículos. Na época, os veículos movidos a gasolina eram disponíveis somente por encomenda. Entretanto, a acentuada queda do preço

do barril de petróleo, e estabilização ao longo dos anos 90, fez com que se reduzisse a atratividade do etanol e assim, a produção de carros movidos a etanol não chegou a 1% em 2000. Já o diesel é o combustível mais utilizado por ser predominante em veículos pesados, tendo uma maior eficiência e um menor preço, porém no Brasil não é permitido a sua utilização em veículos leves. (VIDAL, 2000).

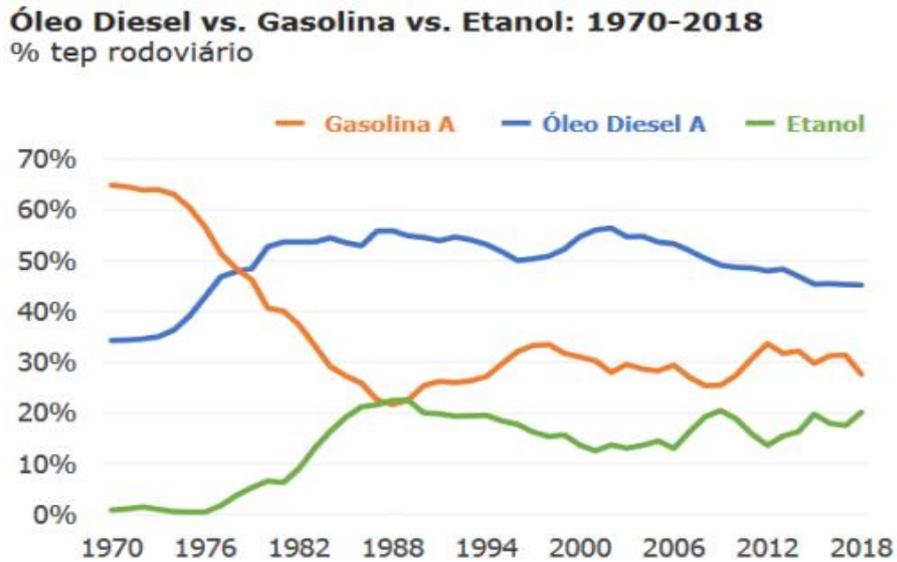


Figura 19 – Participação dos combustíveis utilizados pelo modo rodoviário no Brasil.

Fonte: (EPE, 2019)

O combustível álcool etílico hidratado vendido no Brasil é composto de 93% de etanol (C_2H_5OH) e 7% de água (H_2O) em massa, que resulta em menor poder calorífico, sendo esta composição obtida através do processo de destilação. A fração de água, auxilia na redução do fenômeno de autoignição, principalmente em motores com elevada razão de compressão ou sobrealimentados, pois aumenta significativamente a octanagem do combustível (BRUNETTI, 2012).

Com relação à maior octanagem e calor de vaporização do álcool, estes contribuem muito para o incremento da relação de compressão do motor, melhorando o seu rendimento térmico. Quanto maior o calor latente de vaporização, maior será a quantidade de calor retirado do ar durante a injeção do combustível (vaporização nos dutos de admissão). Com isso é possível aumentar a massa da mistura admitida (ar e combustível), produzindo mais energia a cada ciclo do motor (BRUNETTI, 2012).

Quanto ao desempenho, se for considerado o maior calor de vaporização, a possibilidade do uso de maior relação de compressão e o avanço do ponto de ignição, com o etanol são atingidos maiores valores de potência e torque (FERRARI, 1996).

Motores que utilizam etanol hidratado, principalmente em regiões onde a temperatura ambiente é inferior ao ponto de fulgor do combustível (12,7° C), necessitam do uso de um sistema de injeção de gasolina auxiliar (partida à frio). Atualmente esse sistema está sendo substituído por uma resistência que aquece o etanol pouco antes da injeção, para a correta pulverização do combustível melhorando a eficiência da combustão (BOSCH, 2004).

Na tabela abaixo é mostrado algumas vantagens e desvantagens do etanol quando comparado a gasolina:

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens do etanol quando comparado a gasolina.

ETANOL X GASOLINA	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
● Renovável;	● Menor valor energético;
● Pode ser sustentável;	● Baixa produção para a demanda;
● Energia mais limpa;	● Menor autonomia;
● Segurança energética;	● Baixo ponto de fulgor.
● Custo competitivo;	
● Maior resistência a detonação.	

Fonte: Autores.

2.1.4 Emissões

A poluição do ar é um dos maiores problemas ambientais da atualidade, colocando em risco a saúde e a qualidade de vida das pessoas. Estudos vem demonstrando que o aumento do uso de combustíveis fósseis elevará o nível de dióxido de carbono (CO₂), mudando assim o ecossistema e levando ao aquecimento global. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que mais de 4 milhões de pessoas em todo o mundo morrem prematuramente devido à poluição do ar. Aproximadamente 90% da população mundial está exposta a concentrações de poluentes superiores ao nível recomendado pela OMS. (CETESB, 2021)

As emissões de veículos rodoviários como carros, ônibus, caminhões e motocicletas são a principal fonte de poluição. Essas emissões são compostas por uma variedade de substâncias tóxicas, que são absorvidas pelo sistema respiratório e têm um impacto negativo na saúde. Esta emissão consiste em gases como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (Nox), hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SOX), material particulado (MP), etc.

Na COP 26, que ocorreu em 2021 na cidade de Glasgow na Escócia, o secretário geral das Nações Unidas destacou que para manter o aumento da temperatura global a 1,5°C, será necessário reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 45% até 2030. Acelerar a transição para emissões líquidas zero será de extrema importância para conseguir manter o aumento da temperatura global perto da meta de 1,5 graus. (ONU, 2021)

Tabela 3 – Gases emitidos por MCI e suas consequências.

Tipo do gás	Formação	Efeitos Nocivos
Monóxido de carbono (CO)	É um gás resultante da queima incompleta do combustível.	Inalada, reduz a capacidade do sangue de transportar oxigênio.
Óxido de nitrogênio (Nox)	São formados quando o nitrogênio reage com o oxigênio em razão da alta temperatura na câmara de combustão.	Prejudicial ao sistema respiratório.
Aldeídos (RCHO)	São emitidos na queima de combustível em veículos automotores, principalmente nos veículos que utilizam etanol.	Causa irritação das mucosas, dos olhos, do nariz e das vias respiratórias em geral. Podem causar crises asmáticas e têm potencial carcinogênico.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	É gerado através da queima de combustíveis com enxofre em sua composição.	Causa agravamento da asma e de problemas respiratórios.
Hidrocarbonetos (HC)	São a parcela de combustível não queimado ou parcialmente queimado que é expelido pelo motor.	Causa irritação nos pulmões e problemas neurológicos.

Fonte: Autores.

Com o objetivo de criar condições para aumentar a competitividade da indústria automobilística, produzindo veículos mais econômicos e seguros, o governo brasileiro criou o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto), que após a Lei 13.755 sancionada em dezembro de 2018, passou a ser conhecida como “Rota 2030”, com o propósito de incentivar projetos de pesquisas e desenvolvimentos no setor. Uma das vantagens que o Rota 2030 proporciona além das reduções das emissões é a redução das alíquotas do IPI em até 2% para veículos que cumpram acima dos requisitos mínimos solicitados pelo programa, se estendendo também para veículos híbridos. Assim, o programa se estendeu aos setores das autopeças e dos

sistemas estratégicos para a produção dos veículos, não limitado unicamente às montadoras. (ROTA 2030, 2018)

As diretrizes do programa são:

- Estabelecer requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no Brasil;
- Incrementar a eficiência energética, o desempenho estrutural e a disponibilidade de tecnologias assistivas;
- Aumentar os investimentos em P&D no País;
- Estimular a produção de novas tecnologias e inovações;
- Automatizar o processo manufatura e o incremento da produtividade;
- Promover o uso de biocombustíveis e de formas alternativas de propulsão e valorizar a matriz energética brasileira;
- Garantia da capacitação técnica e da qualificação profissional no setor de mobilidade e logística;
- Garantia da expansão ou manutenção do emprego no setor de mobilidade e logística.

Representado na **Figura 20**, no Brasil, as emissões oriundas do subsetor de transporte, está longe de ser o maior problema de emissões do país. Porém ao longo dos últimos anos, esse número vem crescendo, graças ao maior número de automóveis e caminhões nas estradas.

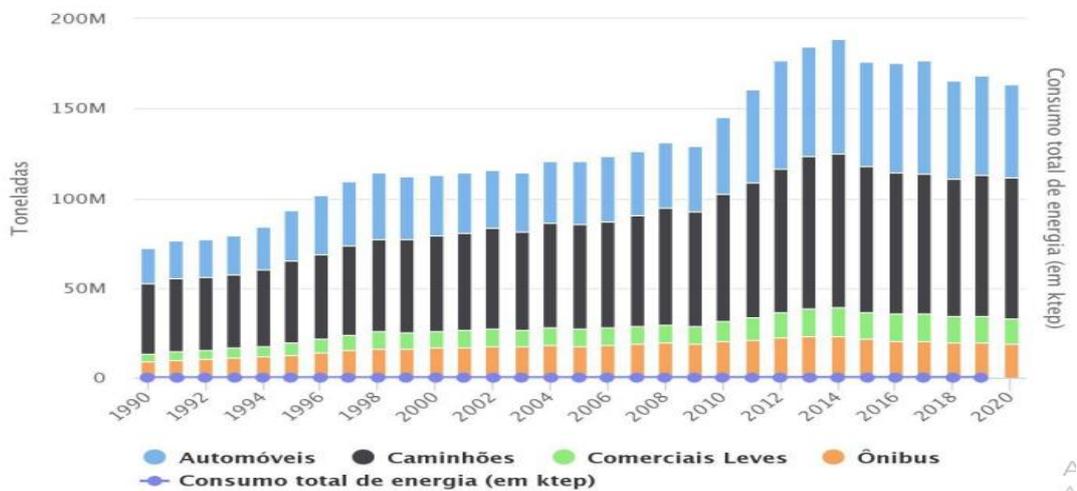


Figura 20 – Consumo total de energia por transportes entre 1990 a 2020.

Fonte: (SEEG BRASIL, 2021)

A **Figura 21**, mostra as emissões de CO₂ acumuladas em bilhões de toneladas, geradas por combustíveis fósseis, comparando o Brasil com os países mais poluentes no setor a nível mundial. Podemos observar um crescimento exponencial nas emissões nos últimos cem anos, consolidando o Estados Unidos como o maior poluente da história, entretanto a China atualmente e quem detém a maior emissão global anualmente, como apresentado na **Figura 22**. Enquanto isso, comparado as grandes potências, o Brasil não teve um crescimento na geração de emissões tão expressivo.

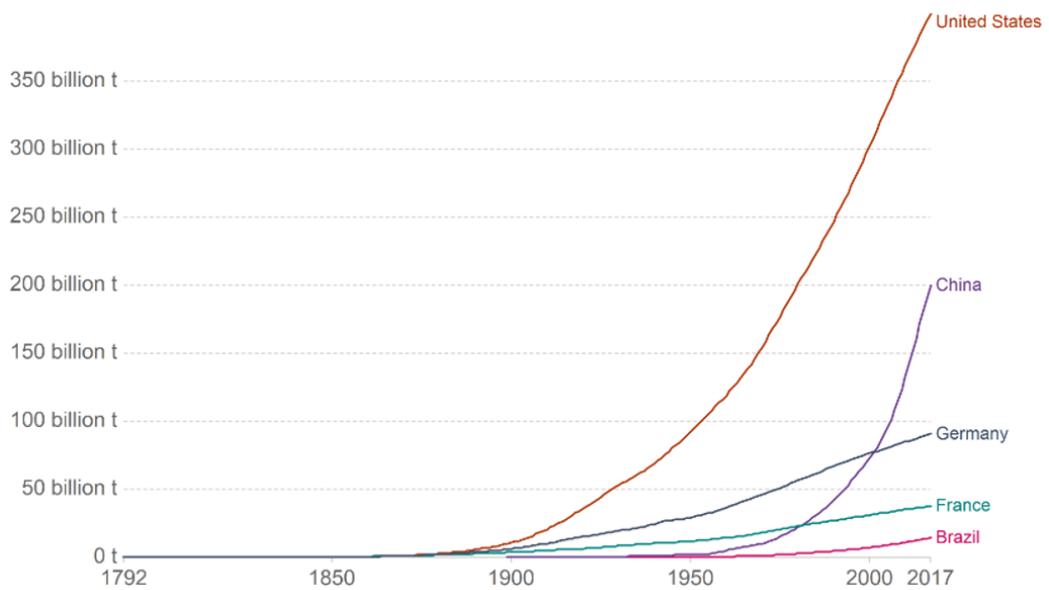


Figura 21 – Acumulado das emissões de CO₂.

Fonte: (CO₂ and Greenhouse Gas Emissions, 2020)

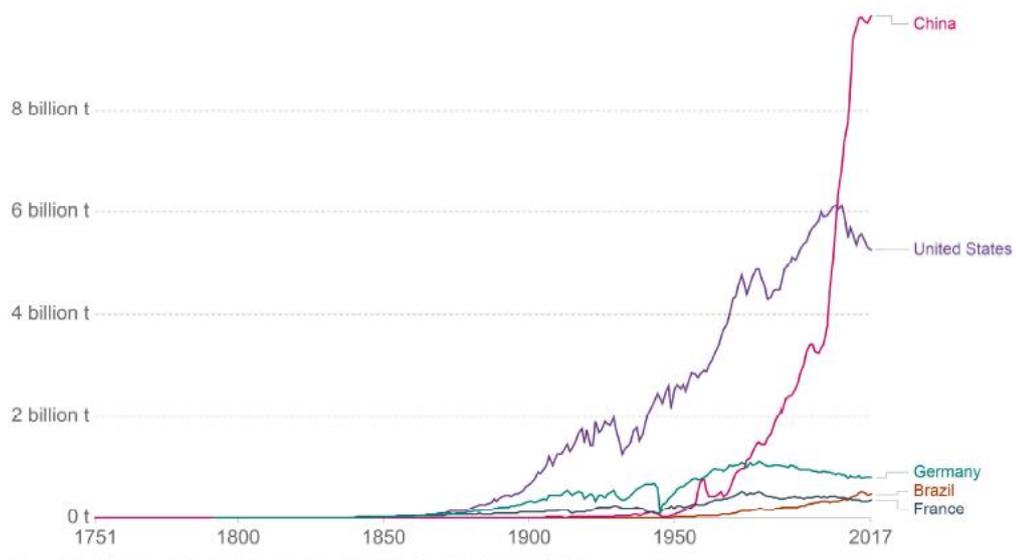


Figura 22 - Emissões anuais de CO₂ por queima de combustíveis fósseis.

Fonte: (CO₂ and Greenhouse Gas Emissions, 2020)

2.2 DOWNSIZING DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Ao longo dos últimos anos, tem-se notado o crescimento da utilização do *downsizing* nos motores dos veículos leves, com o objetivo de atingir as metas de eficiência energética que vem sendo impostas na maioria dos países. No meio automobilístico é conhecido como *downsizing* a redução que se dá na capacidade volumétrica dos motores para a obtenção de mesma potência (BRUNETTI, 2012). A palavra *downsizing*, é um termo em inglês que significa “diminuição de tamanho”. Devido a essa busca por uma redução no consumo dos motores de combustão interna, melhorando a eficiência dos motores e otimizando o aproveitamento dos combustíveis, foi adotada esta designação para a tendência que se tem observado na indústria automotiva.

Com esse objetivo traçado, a maioria das montadoras tem realizado lançamentos de motores menores turbinados e com injeção direta. Podemos citar alguns aspectos desses motores, que podem aparecer individualmente ou em conjunto:

- Aumento da potência e torque sem aumento de cilindrada;
- Redução da cilindrada total, mantendo a potência e o torque;
- Redução do número de cilindros;
- Redução das perdas de atrito devido a menor dimensão das partes móveis;
- Otimização do sistema de admissão de ar;
- Sistemas de comandos de válvulas variáveis;
- Sobrealimentação.

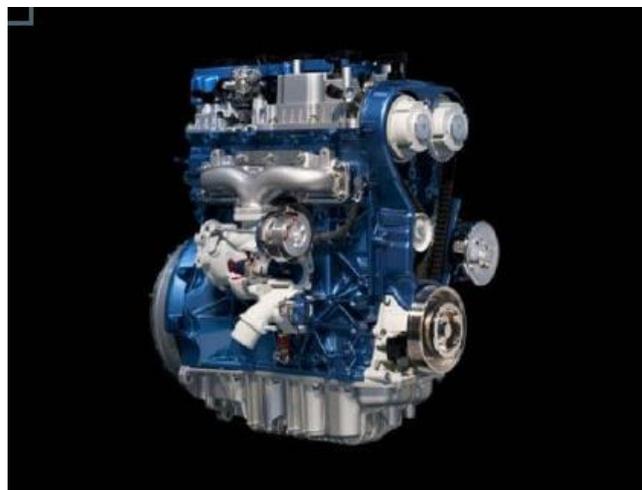


Figura 23 - Ford EcoBoost 1.0 3 cilindros turbo 120 CV.

Fonte: (Ford, 2017)

Para o ano de 2023, é previsto que mais da metade dos veículos vendidos no Brasil sejam equipados com motores de três cilindros e a participação de motores turbo e com o sistema de injeção direta devem ultrapassar 50% em 2028. Caso essa previsão se concretize, a cilindrada média cairá para 1,33 litro em 2030. Mesmo com a redução da cilindrada média, o aumento do uso de turbo e da injeção direta vai fazer com que a potência específica (cavalos por litro) e o torque específico (Newton metro por litro) cresçam 31% e 42%, respectivamente, em 2030 quando comparados a 2014 (Automotiva, 2020). Como apresentado na **Figura 24**, com o passar dos anos há uma previsão de aumento da adoção de veículos com três cilindros (aspirados e turbo com injeção direta) e consequentemente maior potência e torque específico.

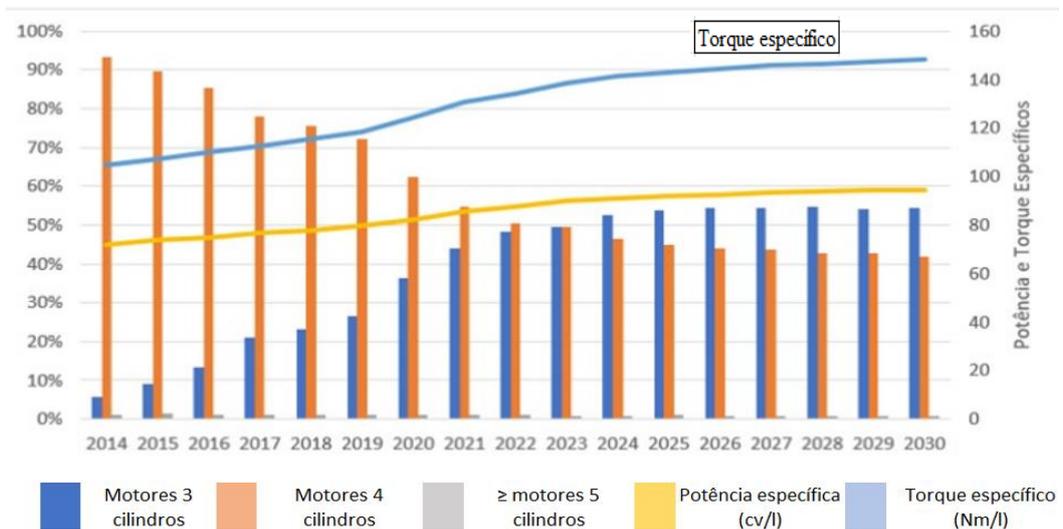


Figura 24 – Evolução da adoção do downsizing x crescimento de potência e torque específicos no Brasil.

Fonte: (IHS MARKIT, 2021)

2.3 VEÍCULOS HÍBRIDOS

Os veículos híbridos foram criados com o objetivo de combinar a potência e desempenho de veículos de combustão interna com a redução de consumo de combustível e emissão de poluentes. O primeiro automóvel híbrido produzido em série no mundo foi o Toyota Prius, lançado no mercado japonês em 1997. No Brasil o primeiro automóvel híbrido lançado foi o Mercedes-Benz S400 em abril de 2010, do tipo híbrido leve, onde a função do motor elétrico era complementar, não podendo por si só movimentar o carro.

Os carros híbridos funcionam com duas fontes de força motriz, um motor de combustão e um propulsor elétrico. Para atuarem juntos ambos foram modificados para melhor se complementarem, tais modelos foram divididos em três tipos:

2.3.1 Veículos híbridos em série

Os motores funcionam ligados em série ou sequência, assim aproveitando a saída de um para alimentar a entrada do outro. O motor elétrico se responsabiliza pela locomoção do veículo e o motor de combustão atua movimentando um gerador que fornece energia para as baterias que alimentam o motor elétrico.

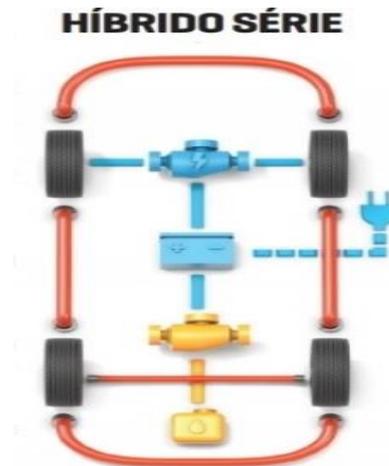


Figura 25- Híbridos de acordo com o tipo de tração.

Fonte: (Grande, 2019)

Carros híbridos em série possuem menores baterias, de 1 a 2 kWh, uma vez que o motor elétrico é utilizado apenas como um auxiliador. A bateria é recarregada durante a frenagem regenerativa. Um exemplo de automóvel híbrido em serie é o Ford Fusion Hybrid, como podemos ver no comparativo da tabela abaixo. O Ford Fusion Hybrid tem um consumo urbano 50% menor, sendo capaz de percorrer o dobro da distância do Ford Fusion SEL (movido por MCI de 2.0 l), pela mesma quantidade de litro de combustível. Porém como desvantagem a versão híbrida possui um preço 20% superior a versão comum movida a gasolina.

Tabela 4 – Comparativo entre Ford Fusion Hybrid e o Ford Fusion Turbo FWD.

Modelo	Combustível	Consumo urbano	Autonomia urbana	Consumo rodoviário	Autonomia rodoviário	Preço (2019)
Fusion Hybrid 2.0	Híbrido	16,8 km/l	890,4 km	15,1 km/l	800,3 km	R\$ 182.990,00
Fusion SEL 2.0 Turbo FWD	Gasolina	8,6 km/l	533,2 km	11,7 km/l	725,4 km	R\$ 149.900,00

Fonte: Autores.

2.3.2 Veículos híbridos em paralelo

Ambos os propulsores são utilizados para gerar a força motriz requerida, porém apenas o motor a combustão atua, sendo responsável pela locomoção do veículo, o elétrico serve como auxiliar para aperfeiçoar seu desempenho.



Figura 26-Híbridos de acordo com o tipo de tração.

Fonte: (Grande, 2019)

Veículos híbridos em paralelo possuem maiores baterias, em sua maioria são híbridos plug-in. As baterias são recarregadas durante as frenagens, postos especializados ou na tomada, sua capacidade varia de 5 a 20 kWh, com uma autonomia de 30 a 120km. Devido a inovação tecnológica e maiores capacidades de bateria, a autonomia desses veículos pode chegar a 30 km/l, como o novo Toyota Prius, gerando uma autonomia três vezes maior que um automóvel comum de combustão interna. Possui como desvantagem o valor, podendo ser até 30% superior aos concorrentes equivalentes com motores de combustão interna.

Tabela 5 – Características de um veículo híbrido.

MOTOR	Combustão interna + Elétrico
FONTE DE ENERGIA	Combustível + rede elétrica + frenagem regenerativa
CAPACIDADE DA BATERIA	5 a 20 kWh
AUTONOMIA	30 a 120 km - bateria 400 a 700 km - combustível
RECARGA/REABASTECIMENTO	Recarga da bateria via eletricidade da rede de energia elétrica e durante as frenagens, reabastecimento em postos de combustível
MODELOS	BMW i8 - Toyota Prius Mercedes Benz C350e - Volvo V60 PHEV Mitsubishi Outlander - Volkswagen Golf GTE

Fonte: (Neo Charge, 2021)

2.3.3 Veículos híbridos misto

É o sistema mais comum entre os híbridos presentes no mercado, onde ambos os motores são utilizados de forma a maximizar os benefícios de ambos. Os dois podem atuar de forma simultânea ou com apenas o sistema elétrico. Quando atuam juntos, uma central eletrônica define as funções para decidir qual fonte de energia é a melhor a ser utilizada para cada situação, podendo gerar eletricidade e fornecer energia para as rodas.

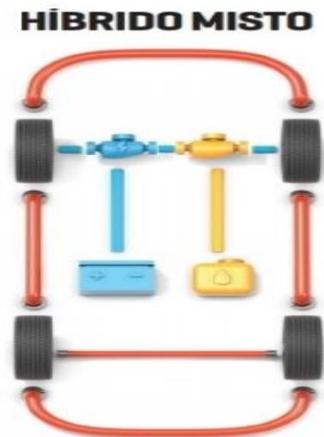


Figura 27-Híbridos de acordo com o tipo de tração.

Fonte: (Grande, 2019)

Um dos seus principais componentes é o gerador, que transforma a energia cinética proveniente do motor de combustão em energia elétrica, que alimentará o propulsor elétrico, tal conversão se dá quando o automóvel está em locomoção sem aceleração ou quando acontecem as frenagens. O motor de combustão interna do carro híbrido pode ter como combustível o diesel, o etanol, mas sendo mais comum a gasolina.

Carros híbridos do tipo *Plug-in* possuem uma opção alternativa de recarga das baterias, permitindo a recarga através de uma conexão do carro na tomada, através de um plug. Esses tipos de carros possuem baterias com maiores capacidades de armazenamento de energia, possibilitando percorrer longas distâncias utilizando somente o propulsor elétrico. Apesar de um abastecimento mais demorado, a facilidade de recarga é um ponto positivo, uma vez que não fica dependente de locais de abastecimento especializados, assim como a diminuição do consumo de combustível.

2.3.4 Potência dos veículos híbridos

A potência combinada de um veículo híbrido é a potência máxima que os dois motores podem atingir ao mesmo tempo sob o limite de velocidade. Uma vez que o limite de

velocidade do motor de combustão interna é geralmente maior do que o elétrico, o motor elétrico fornecerá potência total quando já estiver em um estado de perda.

O motor de combustão interna do Toyota Prius 1.5 litros de segunda geração tem uma potência de pico de 76 cavalos á 5.000 rpm. O motor elétrico produz apenas 67 cv ao girar á 1.200 rpm. No entanto, a potência total do dispositivo é de 110 cavalos em vez de 143 cavalos. O mesmo aconteceu com o Ford Fusion Hybrid, o motor 2.0 produz 145 cavalos, enquanto o elétrico fornece 118 cavalos. O total é 190 cavalos, não os 263 cavalos que poderíamos supor. (QUATRO RODAS, 2021)

2.4 VEÍCULOS ELÉTRICOS

A história dos veículos elétricos é bem mais antiga do que aparenta ser. Sua história está ligada diretamente à história das baterias, uma vez que é a responsável por fornecer energia aos propulsores. Em 1859, foi realizada a primeira demonstração da bateria de chumbo e ácido, pelo belga Gaston Planté, que foi utilizada em diversos automóveis elétricos fabricados a partir de 1880, no Reino Unido, Estados Unidos e França.

Os veículos elétricos eram considerados tecnologicamente superiores, sendo o primeiro automóvel a superar os 100 km/h. Em 1899, nos Estados Unidos, o carro elétrico era mais comercializado que o de combustão, chegando a 1.575 veículos elétricos contra 936 a gasolina e 1.681 a vapor.

A queda da popularidade dos veículos elétricos se deu por volta de 1912, devido a invenção da partida elétrica, se tornando não mais necessário a manivela. Outros grandes fatores que influenciaram a queda foram os aumentos de investimentos nos veículos movidos por motores a combustão e o baixo valor da gasolina, assim como uma expansão na rede de distribuição e fácil acesso a gasolina, ao contrário da infraestrutura que era necessária para abastecer os veículos elétricos. A falta de capacidade das baterias e um menor desempenho comparado com os carros de combustão, com a difícil manutenção dos veículos elétricos e suas baterias devido à escassa quantidade de mecânicos que possuíam a mão de obra qualificada para a manutenção, culminaram no congelamento do mercado de automóveis elétricos. (FGV ENERGIA, 2017)

O retorno do interesse por veículos elétricos, considerado a segunda era se deu entre 1951-2000, devido aos altos preços do petróleo e os elevados índices de poluição atmosférica. Em 1966 o congresso dos Estados Unidos introduz legislação recomendando a utilização de

automóveis elétricos a fim de combater a poluição do ar. Em 1997 é lançado o Toyota Prius, o primeiro carro híbrido comercial do mundo, unificando as tecnologias elétricas e de combustão, sendo considerado um sucesso, atingindo 18.000 carros vendidos no ano de lançamento.

A terceira e atual era dos veículos elétricos se inicia em 2001, com diversos países se comprometendo com a redução de emissões, buscando a redução das frotas de veículos de combustão, como por exemplo a Noruega, que tem como meta a venda de apenas carros elétricos a partir de 2025. Além do barateamento do valor dos *packs* das baterias produzidos pela Tesla Motors, também ocorreu um aumento exponencial de eletropostos (públicos e privados, lentos e rápidos), atingindo 1,45 milhão no mundo, comparado com 2014 e 2010 que eram de 820 mil e 20 mil respectivamente.

Timeline da mobilidade elétrica no mundo

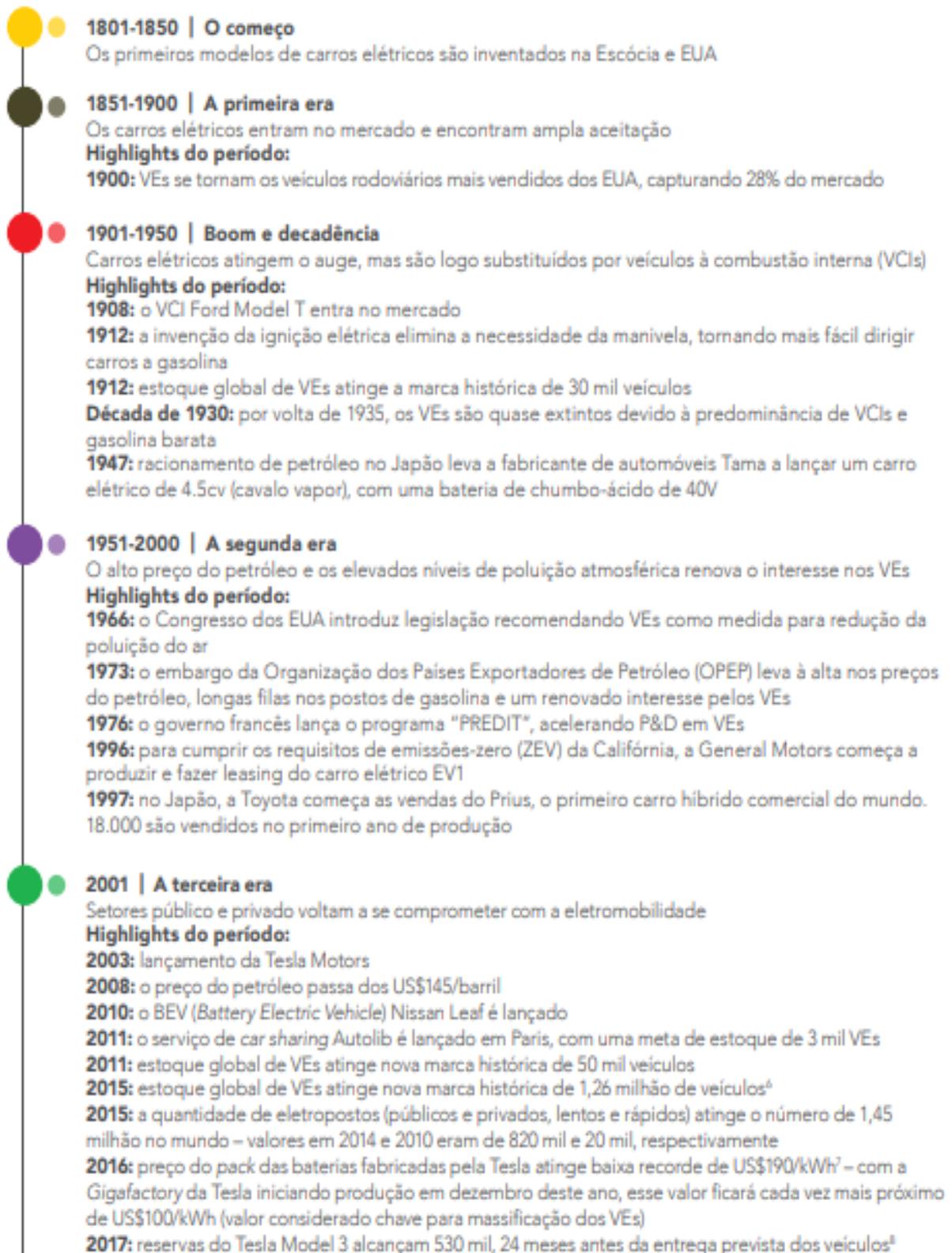


Figura 28-Timeline da mobilidade elétrica no mundo.

Fonte: (FGV ENERGIA, 2017)

2.4.1 Modo de funcionamento

O veículo elétrico utiliza como fonte de energia a eletricidade. O motor elétrico possui uma eficiência de aproximadamente 80%, é responsável por converter energia elétrica em energia mecânica, sendo formado por dois componentes básicos, um rotor e um estator.

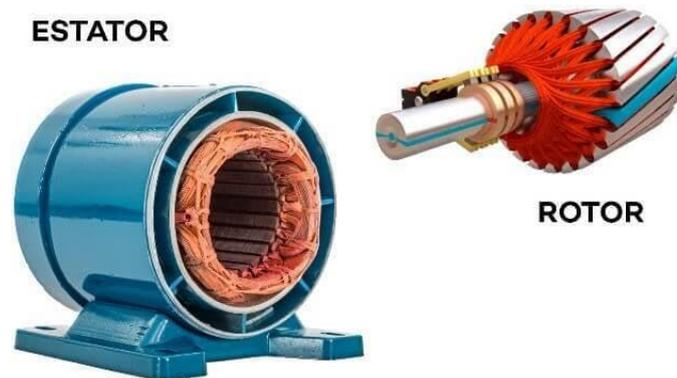


Figura 29- Componentes básicos do motor elétrico (estator e rotor).

Fonte: (Neo Charge, 2021)

2.4.2 Características técnicas dos motores elétricos

Os mais utilizados na atualidade são: motor de corrente contínua, alternada, síncrono de ímãs permanentes e de relutância

2.4.2.1 Motor de corrente contínua

É um motor com escovas alimentado por corrente contínua através de uma bateria. O estator é composto por diversos eletroímãs que criam um campo eletromagnético através da variação de polaridade, constantemente alternando entre positivo e negativo de forma controlada, gerando assim o movimento do rotor. O Rotor é ligado à transmissão assim possibilitando a movimentação do automóvel.

2.4.2.2 Motor de indução

É um motor alimentado por corrente alternada onde não são necessários ímãs permanentes, uma vez que o campo magnético é criado pela corrente elétrica através das bobinas fixadas no estator, induzindo corrente e tensão no rotor que por sua vez irá produzir o próprio campo magnético, que tentará se alinhar e acompanhar o campo magnético do estator. Possui um baixo torque de arranque, controle simples e pouca necessidade de manutenção, são considerados o melhor custo-benefício e o mais comum.

2.4.2.3 Motor síncrono de ímãs permanentes

É um motor síncrono, pois seu rotor gira sincronizado com a mesma velocidade do campo magnético rotativo. Não é necessário um campo magnético induzido, o que evita o aquecimento do rotor. É formado por um estator bobinado com enrolamento trifásico e um rotor formado de ímãs de alta permeabilidade e intensidade de campo magnético. Uma vez que o estator é energizado por uma fonte externa, é criado um campo magnético rotativo, o rotor possui seu próprio campo magnético devido ao seu ímã permanente, que ao interagir com o campo magnético do estator, se alinham de forma que o rotor gire na mesma velocidade em sincronia com o campo magnético. Possui as mesmas vantagens que um motor de indução, porém é mais compacto, leve e com melhor eficiência.

2.4.2.4 Motor de relutância

É um motor que combina as vantagens dos motores de indução e ímã permanente. Motor síncrono, compacto e eficiente como o motor de ímã permanente e robusto e tolerante às falhas como o motor de indução. Estator similar ao de ímã permanente e rotor constituído por um conjunto de lâminas ferromagnético dispostos lado a lado. O funcionamento consiste, da mesma forma que o ímã permanente, onde o rotor se alinha com velocidade síncrona ao campo magnético, o fazendo girar.

2.4.3 Armazenamento de energia

Armazenamento de energia nos automóveis elétricos se dá através das baterias, que armazenam a eletricidade que será consumida pelo motor para acionar as rodas do veículo. Existem três tipos principais de baterias atualmente.

Baterias de íon de lítio são as mais comuns pois tem como característica ser possível carregar novamente sem antes ter a necessidade de serem descarregadas por completo e por serem mais eficientes e consistentes.

Baterias de hidreto metálico de níquel possuem um ciclo de vida maior comparado com as de íon lítio, porém são mais comuns em automóveis híbridos uma vez que possuem alta taxa de autodescarga, alta geração de calor a elevadas temperaturas e altos custos.

Baterias de Chumbo ácido são utilizadas com a função de complementar outras cargas, como as de acessórios. Possuem alta potência, baixo custo e são confiáveis, porém sua vida útil é pequena e seu desempenho baixo.

Existem também os supercapacitores, que podem fazer o mesmo papel que uma bateria, porém apenas armazenam energia com baixa densidade energética, possuem alta

densidade de potência e um ótimo ciclo de vida. Sua maior característica é a capacidade de armazenar e descarregar rapidamente grandes quantidades de energia. São utilizados em veículos elétricos como um auxiliador de energia extra, durante a frenagem regenerativa e a aceleração e também ajudam as baterias a nivelar as suas cargas.

Tabela 6 – Tipos de bateria dos veículos elétricos.

	Íon de Lítio	Níquel Hidreto Metálico NiMH	Chumbo-ácido	Supercapacitor
Densidade energética (Wh / kg)	100 - 300	40 - 120	30 - 40	1 - 10
Densidade de potência (W / kg)	1.000 - 5.000	300 - 1.000	180	1.000 - 10.000
Ciclo de vida	500 - 15.000	500 - 1.000	500 - 800	Ilimitado
Eficiência de carga e descarga	95 - 99%	65 - 80%	70 - 92%	98%
Taxa de descarga própria	1 - 5% / mês	~30% / mês	3 - 20% / mês	-
Tolerância a sobrecarga	Baixa	Baixa	Alta	-
Manutenção	Sem necessidade	60 - 90 dias	3 - 6 meses	Sem necessidade
Tempo de carga rápida	1 hora ou menos	2 - 4 horas	8 - 16 horas	Segundos

Fonte: (Neo Charge, 2021)

As baterias dentro dos veículos elétricos atuais são constituídas por milhares de células de íons de lítio, que possuem a capacidade de liberar e reter energia milhares de vezes. Cada uma das células é composta por dois eletrodos, um cátodo de metal e um ânodo de grafite, separados por um eletrólito líquido. Quando a bateria é carregada, os íons de lítio atravessam o líquido do cátodo ao ânodo, preenchendo os espaços entre as camadas de grafite. O tempo em de carregamento da bateria é determinada pela velocidade com que os íons de lítio se deslocam do cátodo ao ânodo. Caso o lítio seja forçado ao ânodo rápido demais, podem surgir problemas. As baterias de lítio quando submetidas a altas velocidades de recargas, podem superaquecer, causando sua degradação com o tempo.

Também pode originar acúmulo de lítio na superfície do ânodo ao invés de em seu interior, podendo limitar radicalmente a capacidade da bateria, os depósitos de lítio podem formar estruturas similares a filamentos conhecidos como dendritos. Quando os mesmos se desenvolvem, os dendritos podem percorrer o eletrólito chegando ao cátodo e assim criando um curto-circuito, podendo causar uma explosão na bateria.

Uma estação de recarga rápida de 350 quilowatts, o carregador público mais potente disponível nos Estados Unidos atualmente, pode em tese, carregar uma bateria de 95 quilowatt-hora de um SUV Audi E-tron em 16 minutos em média. Mas a bateria em si consegue suportar apenas cerca de 150 quilowatts de potência, no máximo, o que, na prática, aumenta seu tempo limite de recarga para perto de 40 minutos. As estações de recarga rápida de última geração geralmente podem deixar a carga da bateria de um veículo elétrico 80% completa, oferecendo centenas de quilômetros de autonomia, em cerca de 30 minutos. Ao completar 80% da carga, a velocidade de carregamento é reduzida para evitar que a bateria seja danificada. A velocidade exata de recarga de uma bateria no mundo real não depende apenas do carregador ou de quantos quilowatts de energia a bateria foi projetada para suportar, mas também do tamanho da bateria, de como é carregada e até mesmo do clima. (National Geographic Brasil, 2021).

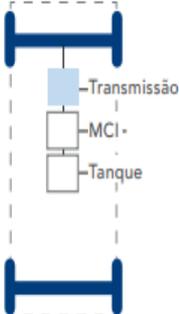
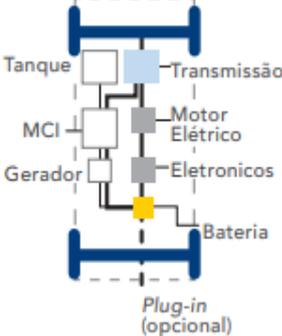
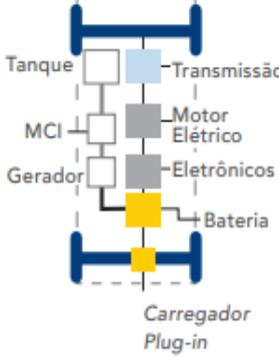
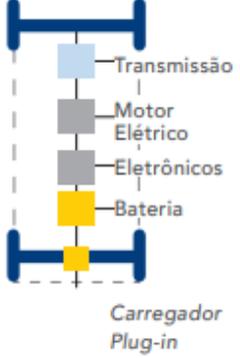
3. ANÁLISE COMPARATIVAS ENTRE OS MOTORES ESTUDADOS

Com a crescente do mercado automobilístico ao longo das últimas décadas, a corrida por novas tecnologias, sejam elas mais econômicas e principalmente mais sustentáveis, ditaram o ritmo nos últimos anos, o que acarreta maiores análises, comparações e estudos sobre qual tecnologia será tendência no futuro no que tange a propulsão de um veículo leve.

3.1 COMPARAÇÕES ENTRE OS SISTEMAS DE PROPULSÃO EM VEÍCULOS LEVES

Utilizaremos a imagem a seguir para analisar comparativamente os propulsores elétricos, híbridos e MCI (com a tecnologia *downsizing*)

Tabela 7 – Análise comparativa entre veículos elétricos, híbridos e MCI.

	MCI é a fonte primária de propulsão		Motor elétrico é a fonte primária de propulsão	
Tipos de Veículos	<p>Veículo à combustão interna (com a tecnologia <i>downsizing</i>)</p> 	<p>Veículo elétrico (plug in) híbrido</p> 	<p>Veículo elétrico com autonomia estendida</p> 	<p>Veículo elétrico à bateria</p> 
Tipo de motores	<p>Motor à combustão interna</p>	<p>Motores à combustão interna e elétrico dispostos em paralelo; sistema plug in opcional. Motor à combustão é o principal para mover o veículo, com auxílio de um pequeno motor elétrico</p>	<p>Motores à combustão interna e elétrico dispostos em série. Motor elétrico é o principal para mover o veículo, com o motor à combustão interna gerando eletricidade para o elétrico.</p>	<p>100% elétrico</p>

Tipo de combustível	Fóssil ou biocombustível	Fóssil, biocombustível ou eletricidade. Melhor economia de combustível se comparado a um modelo similar à combustão	Fóssil, biocombustível ou eletricidade. Melhor economia de combustível graças a maior autonomia do motor elétrico	Eletricidade
Característica de armazenamento elétrico	Não possui	Bateria carregada através do motor à combustão interna ou por eletricidade (para híbridos plug-in)	Bateria é recarregada como no híbrido. Além disso, costuma ter uma bateria com menor capacidade do que o BEV (Veículo Elétrico a bateria)	Bateria de íons de lítio com grande capacidade, recarregada por fonte externa elétrica
Autonomia	Grande autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/biocombustível	Pouca autonomia elétrica, que é complementada pela autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/biocombustível	Autonomia elétrica média, complementada pela autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/biocombustível	Autonomia elétrica de pequena a média (comparada aos MCI)
Informações adicionais	Downsizing	Direção totalmente elétrica apenas em baixas velocidades e pequenas distâncias	Pequeno motor à combustão interna para maior autonomia, se comparada à do BEV (autonomia estendida)	
Preço médio inicial de um modelo nos EUA (Ano 2021)	US\$ 18.000	US\$ 34.000	US\$ 44.000	US\$ 29.000
Emissões	0,23 kg CO ₂ /Km	0,062 kg CO ₂ /km	0,060 kg CO ₂ /km	Zero

Fonte: Adaptado pelos autores. (FGV ENERGIA, 2017)

- Tipos de motores: foram comparados dois tipos de motores, motores de combustão interna (com a tecnologia *downsizing*) e motores elétricos, dispostos de formas variadas com o intuito de otimizar suas características.
- Tipos de combustível: motores de combustão interna operam com gasolina/álcool/diesel ou GNV e motores elétricos operam a partir da eletricidade.
- Tipos de armazenamento: veículos movidos a MCI possuem baterias que não dependem de infraestrutura elétrica, diferente dos híbridos e elétricos, onde no caso dos híbridos pode ser carregada através do propulsor a combustão, ou por eletricidade, como no automóvel elétrico.
- Autonomia: autonomia nos veículos MCI são notavelmente superiores do que os demais veículos. Nos veículos híbridos em paralelo, a autonomia do propulsor elétrico é baixa, porém é compensado com a autonomia do motor a combustão. Nos veículos híbridos em série, o propulsor elétrico tem uma autonomia média também complementada pelo motor à combustão. Automóveis elétricos possuem autonomia de uma forma geral inferior aos automóveis à combustão, sendo esse um dos pontos fracos do mesmo. Com os avanços tecnológicos a tendência é que esse cenário mude, como já existem em alguns modelos esportivos atualmente onde a autonomia pode chegar acima dos 400 km, ficando muito próximo da autonomia dos veículos MCI.
- Valores: automóveis híbridos e elétricos podem custar até duas vezes mais que automóveis MCI (dependendo do modelo), porém tem como vantagem um custo reduzido nos gastos com combustível.
- Emissões: automóveis elétricos poluem até 68% menos que os automóveis MCI, levando em conta as emissões de carbono entre veículos eletrificados e de combustão, considerando desde a produção até o descarte de componentes. (QUATRO RODAS, 2021)

4. DISCUSSÕES

Para analisarmos a melhor alternativa para o Brasil, é necessário levar em conta diversos fatores, não somente visando a redução de emissão de poluentes no meio ambiente, mas também em relação a estrutura necessária para atender a demanda de veículos elétricos.

O Brasil possui uma matriz energética diversificada, tendo diversas fontes de energia renováveis, com capacidade de expandir ainda mais o investimento em energia eólica e solar, sendo esses recursos naturais com bastante potencial de exploração no Brasil e principalmente baixo impacto ambiental, o que aponta favoravelmente para a substituição dos veículos movidos por combustíveis fósseis para veículos elétricos e híbridos.

Um estudo pertinente, feito pela Anfavea (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) e pela consultoria americana BCG (Boston Consulting Group) em 2020, no qual foi realizado uma pesquisa com diferentes entidades da indústria e do governo, e também de empresas de energia e combustíveis, mostram três possíveis cenários para o Brasil, que foram chamados de: Inercial, Convergência Global e Protagonismo de Biocombustíveis. (ANFAVEA/BCG, 2021)

No cenário Inercial, a presença dos veículos elétricos avançaria de forma lenta, em um ritmo parecido com o atual, sendo incentivado por iniciativas isoladas de determinadas empresas, entidades de fomento à tecnologia e governos regionais. Nesse cenário, segundo o estudo, os motores a combustão continuariam dominando pelos próximos 15 anos. Em 2035, a frota composta por automóveis flex seria de 67% e por veículos eletrificados (híbridos, híbridos plug-in, elétricos puros) seria de 32%. O 1% restante seria representado por modelos diesel, considerando sempre o mercado de veículos leves.

No cenário de Convergência, seriam criadas condições necessárias para uma transformação vinda de investimentos na parte tecnológica, com os consumidores aderindo os veículos elétricos. Esse cenário permitiria que o Brasil chegasse a 2035 com a porcentagem de eletrificação parecido aos dos mercados mais avançados, com os veículos elétricos correspondendo a 62% do mercado e os veículos flex a 37%.

Já no cenário de Protagonismo de Biocombustíveis, o etanol assumiria papel principal para a descarbonização, mantendo a eletrificação no nível previsto do primeiro cenário. (ANFAVEA/BCG, 2021)

Protagonismo de Biocombustíveis % etanol - total combustível

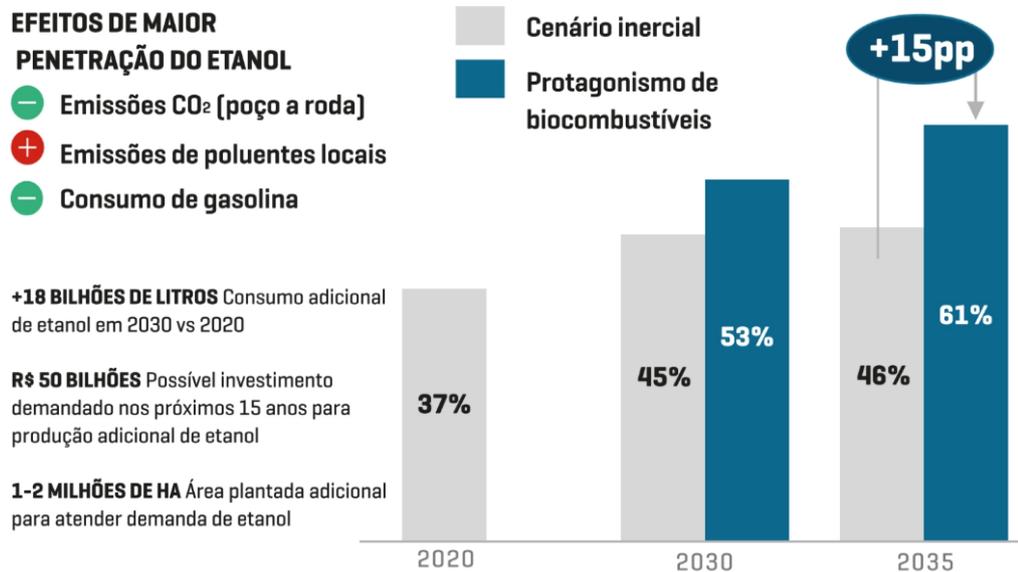


Figura 30 – Percentual de biocombustíveis para os cenários inercial e Protagonismo de Biocombustíveis.

Fonte: (ANFAVEA/BCG, 2021)

Segundo a pesquisa, a vantagem do terceiro cenário, de protagonismo de biocombustíveis, é o fato de que seria possível chegar em 2035 com menos investimento em infraestrutura, com um nível de emissões de CO₂ 10% inferior na comparação com o cenário de Convergência global, e 15% inferior, no caso cenário da Inércia, sempre considerando as emissões medidas desde a produção do combustível até o consumo, não apenas no escapamento e levando em conta apenas o CO₂, que é o maior causador do aquecimento global. O gráfico da **Figura 30** faz uma comparação entre os cenários da utilização dos biocombustíveis, onde no cenário Inercial o percentual de utilização seria muito menor do que o cenário de Protagonismo de biocombustíveis, no qual o etanol desempenhará papel fundamental nesse crescimento. Atualmente são consumidos em média 15 bilhões de litros de etanol anuais e como está representado no gráfico, a estimativa para 2030 é de um consumo adicional de 18 bilhões de litros de etanol. Para suprir essa demanda, está previsto para 2030 uma área plantada adicional de 1 a 2 milhões. (ANFAVEA/BCG, 2021)

No cenário atual, mesmo o período de pandemia e com a diminuição das vendas de carros convencionais, a tendência mundial foi de constante crescimento nas vendas de automóveis elétricos. Em 2019, 2,2 milhões de veículos elétricos foram vendidos, representando apenas 2,5% das vendas globais de carros, enquanto em 2020, esse número

creceu para 3 milhões, representando cerca de 4% das vendas. Em 2021 o crescimento foi ainda mais satisfatório, representando cerca de 9% com uma venda total de 6,6 milhões de veículos elétricos, como apresentado na **Figura 31**.

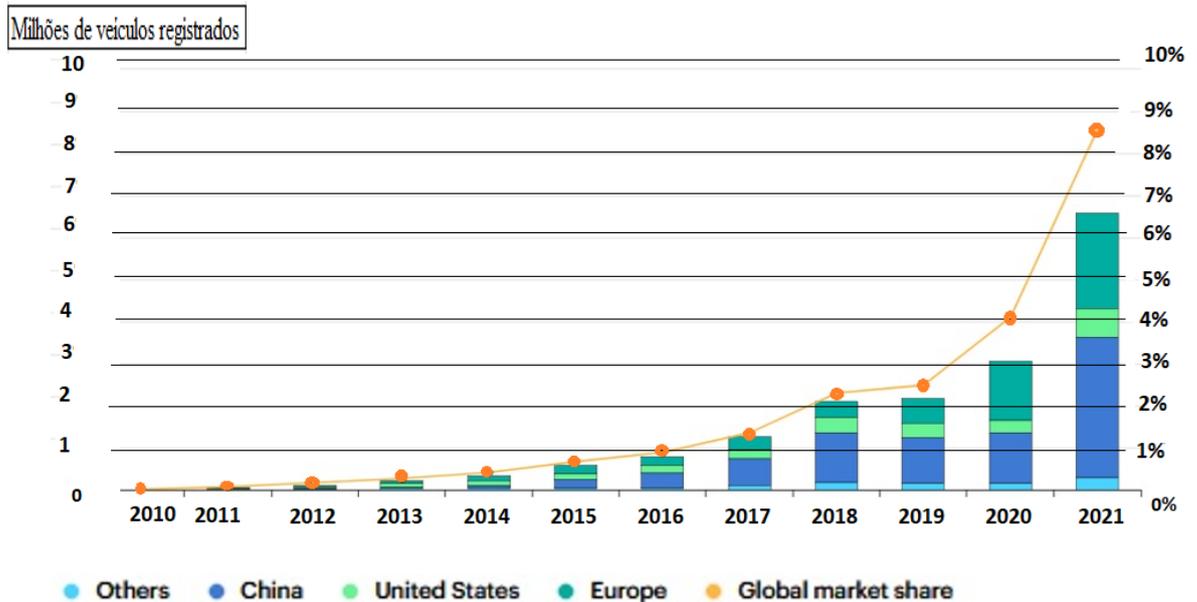


Figura 31 - Vendas totais de veículos elétricos e porcentagem frente ao mercado global durante os anos.

Fonte: (Paoli & Gül, 2022)

Apesar de acentuada redução de emissões de gases poluentes, medidos em g/km rodado, graças a evolução tecnológica dos MCI, os automóveis ainda continuam a emitir gases como dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, aldeídos, dióxido de enxofre e hidrocarbonetos, todos eles com efeitos nocivos ao ecossistema e aos seres humanos. Neste sentido, o aumento de vendas dos veículos elétricos e híbridos mundialmente, é um fator positivo pois veículos elétricos não emitem poluentes ou CO₂ desde que a eletricidade seja proveniente de fonte de energia renovável. Já nos veículos híbridos, a redução da emissão de poluentes é diretamente proporcional a porcentagem da utilização do seu propulsor elétrico, ou seja, quanto maior a sua utilização, menor a necessidade do motor a combustão, logo, teremos níveis inferiores de poluição provinda desses veículos.

O Brasil, por sua vez, apresenta uma vantagem única, em relação a grande maioria dos outros países, que é a disponibilidade dos biocombustíveis como o caso do etanol, usado largamente em praticamente todo o território brasileiro há décadas como fonte alternativa à gasolina, seja puro ou misturado em qualquer proporção graças aos motores flex.

Atualmente, o proprietário de um automóvel elétrico/híbrido no Brasil possui em torno de 500 pontos para carregamento em rodovias e locais públicos, como shoppings e postos de combustível, segundo o aplicativo da Tupinambá Energia. (Mobilidade Estadão, 2021)

A via Dutra por exemplo, uma das rodovias mais movimentadas que interliga dois dos mais populosos estados do país, Rio de Janeiro e São Paulo, possui seis estações de recarga em seus 430 quilômetros de extensão. As estações têm a capacidade de abastecer até dois veículos, com um tempo estimado de recarga de 25 minutos para 80% da carga para um automóvel com bateria de 22 kWh.

Tabela 8 - Estações de recarga da via Dutra.

Posto	Cidade	Endereço
São Jorge do Paratei	Guararema (SP)	Presidente Dutra, km 179 S/N
Auto Posto GAP São José	São José dos Campos (SP)	Av. Pres. Juscelino Kubitschek, 9500
Posto Clube dos 500	Presidente Dutra, km 60 S/N	Guaratinguetá (SP)
Posto Estrela da Dutra	Queluz (SP)	Presidente Dutra, km 06 S/N
Comercial H Karl Allers (Mamão)	Piraí (RJ)	Presidente Dutra, km 74 S/N
P Abast Allers (Nacional)	Piraí (RJ)	Presidente Dutra, km 237

Fonte: Elaborado pelos autores.

O ponto crucial no uso dos veículos elétricos está no tempo de recarga das baterias. Enquanto carregadores domésticos levariam oito horas ou mais, existem estudos e protótipos de carregadores ultra rápidos, que seriam capazes de reduzir o tempo de carregamento das baterias para algo próximo ao tempo requerido para abastecer um veículo de combustível convencional, fazendo com que sua utilização seja o mais prático possível.

Tabela 9- Comparativo entre carros elétricos x híbridos x combustão.

COMPARATIVO ENTRE CARROS ELÉTRICOS X HÍBRIDOS X COMBUSTÃO					
					
Nome:	Fiat 500e	Nome:	Toyota Corolla Altis Hybrid 1.8	Nome:	Volkswagen Gol 2022 1.0
Preço:	R\$ 248.990,00	Preço:	R\$ 160.320,00	Preço:	R\$ 69.790,00
Baterias:	42 kWh	Combustível:	Híbrido flex (álcool/gasolina)	Combustível:	Flex (álcool/gasolina)
Potência:	118 cv	Potência motor a combustão:	101 cv (Álcool) / 98 cv (Gasolina) / 72 cv (Elétrico)	Potência:	75 cv
Torque:	22,4 kgfm	Torque:	14,5 kgfm Álcool e Gasolina / 16,6 kgfm Elétrico	Torque:	10,4 kgfm
Consumo:	0,14 kWh/km	Consumo urbano:	10,9 km/L com álcool / 16,3 km/L com gasolina	Consumo urbano:	9,1 km/L com álcool / 13,3 km/L com gasolina
		Consumo rodoviário:	9,9 km/L com álcool / 14,5 km/L com gasolina	Consumo rodoviário:	10,1 km/L com álcool / 14,4 km/L com gasolina
0 - 100 km/h:	10,7 s	0 - 100 km/h:	12 s	0 - 100 km/h:	13,1 s
Autonomia:	320 km	Autonomia:	701 km com gasolina / 469 km com álcool	Autonomia:	732 km com gasolina / 501 km com álcool
Tempo de recarga (0 a 100%):	50 minutos - carga rápida	Tempo de recarga (0 a 100%):	-	Tempo de recarga (0 a 100%):	-
Ano:	2021	Ano:	2021	Ano:	2021

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como ilustrado na **Tabela 9**, o valor do carro elétrico é cerca de quatro vezes o valor de um veículo popular, tornando essa opção inviável para muitos brasileiros atualmente. O veículo híbrido, a princípio, é bem mais caro que um veículo convencional, porém a longo prazo, acaba se tornando uma boa opção, principalmente por seu custo por quilômetro rodado, que como no caso do Toyota Corolla Altis Hybrid 1.8, é de R\$ 0,40 aproximadamente (com base nos preços atuais de combustível e etanol) e sem a tecnologia downsizing em seu MCI, contra R\$ 0,60 por quilômetro rodado de um mesmo Corolla somente com MCI de 1.8 l. Optando por um caminho diferente de outras montadoras como a Jeep e a Fiat, com seus motores menores, mas turbinados.

Durante os últimos anos, é notório que o *downsizing* dos motores teve um papel fundamental nessa busca por menores emissões de poluentes, graças ao seu menor peso, oriunda da redução de cilindradas, tendo assim, um veículo com menor consumo de combustível e sem perda de performance, graças a tecnologias como o turbo e a injeção direta.

Essa tecnologia, aliada a um motor elétrico, poderia ser utilizada até o mundo estar preparado para ter apenas veículos cem por cento elétricos.

4.1 MELHOR ALTERNATIVA PARA O BRASIL

No Brasil há o Corolla Híbrido Flex, que de acordo com a União da Indústria de Cana de Açúcar (Única) (Reset, 2021), emite cerca de 80% menos que um carro abastecido apenas à gasolina e próximo de 20% menos que a versão que utiliza etanol, no qual é considerado o ciclo completo do etanol. Essa linha de automóveis teve uma boa aceitação, tendo cerca de 30% a 35% das vendas em 2021 correspondentes aos modelos híbridos flex, apresentando uma tendência de crescimento em um futuro próximo.

Outro ponto positivo e encorajador para os próximos anos vem das vendas de carros elétricos e híbridos, no Brasil, no primeiro quadrimestre de 2021. Entre o período de janeiro a abril, houve emplacamento de 7.290 veículos eletrificados, sendo esse um acréscimo e 29,4% sobre o mesmo período de 2020, no qual o veículo híbrido foi responsável por aproximadamente 94% (6.862) desses emplacamentos, enquanto veículos cem por cento elétricos foram de quase 6% (428), segundo a ABVE - Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE, 2022).

De acordo com a pesquisa realizada pela Anfavea (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) e pela consultoria americana BCG (Boston Consulting Group) e levando-se em consideração os fatores expostos durante o trabalho, o cenário de Protagonismo de Biocombustíveis seria o mais apropriado para o Brasil atualmente, onde o etanol receberia maiores investimentos para aumentar a sua produção no Brasil. Com o aumento da frota de veículos híbridos, seria possível mais tempo para desenvolver a infraestrutura, necessária para recarga das baterias dos veículos e ainda obter uma menor emissão de CO₂ provenientes dos veículos automotivos.

5. CONCLUSÃO

Um dos principais motivos para diversos países incentivarem o uso de veículos elétricos ou híbridos, está correlacionado com a necessidade de reduzir-se as emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes. Entre outros fatores também temos os constantes aumentos nos preços dos combustíveis derivados do petróleo, que além de tudo, são uma fonte de energia fóssil e, portanto, finitas combustíveis fósseis e finito. No Brasil e em boa parte do mundo, a matriz energética para veículos automotivos é predominantemente oriunda de energias não renováveis. É necessário avançar e evoluir para que a matriz energética possa se diversificar, tendo mais de uma opção de geração de energia renovável, podendo assim atender boa parte dessa futura demanda.

Podemos concluir que o crescimento em grande escala de veículos cem por cento elétricos no Brasil é inviável atualmente. Ainda é necessário um grande avanço nas tecnologias que envolvem o veículo elétrico, como a produção de baterias mais eficientes, uma maior quantidade de eletropostos, redução do preço, para que um dia possam se tornar atraentes para o consumidor. Os veículos híbridos plug-in com MCI modernos e eficientes apresentam uma maior viabilidade quando comparado ao veículo elétrico, por menor custo de aquisição, maior autonomia e mais flexibilidade no uso, devido a menor dependência de infraestrutura para recarga, tornando-se uma opção vantajosa para o consumidor.

Com o passar dos anos e com maiores investimentos em infraestrutura nas áreas urbanas, metropolitanas e nas principais rodovias do país, a utilização de veículos elétricos pode vir a se tornar uma opção aos veículos híbridos, diversificando a frota de veículos e reduzindo ainda mais a emissão de CO₂. Com isso, a opção mais viável seria promover a renovação da frota por veículos híbridos plug-in que além de possuírem o motor elétrico e capacidade de recarga da bateria, também possuem o motor a combustão, que por sua vez deveria utilizar os avanços tecnológicos que permitiram o *downsizing* dos MCI. Vale destacar que a utilização do etanol, como combustível, reduziria ainda mais as emissões de CO₂, que no caso do Brasil, por ser um grande produtor do etanol a partir da cana de açúcar, é bastante viável e permite a implementação em curto espaço de tempo, sem a necessidade de enormes investimentos.

6. BIBLIOGRAFIA

- (2018). Acesso em 26 de Outubro de 2021, disponível em ROTA 2030: <https://www.rota2030.com.br/rota-2030-inovacao/>
- (5 de fevereiro de 2019). Fonte: <https://quatorrodas.abril.com.br/especial/conheca-os-tipos-de-carros-eletricos-e-hibridos-existent-no-mercado/>
- (2019). Acesso em 26 de Outubro de 2021, disponível em EPE: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-442/08%20-%20Abastecimento.pdf>
- (2020). Acesso em 27 de Outubro de 2021, disponível em CO2 and Greenhouse Gas Emissions: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#why-do-greenhouse-gas-emissions-matter>
- (2021). Fonte: IHS MARKIT: <https://ihsmarkit.com/index.html>
- (2021). Acesso em 12 de Outubro de 2021, disponível em Neo Charge: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/motor-como-funciona>
- (Outubro de 2021). Acesso em 12 de outubro de 2021, disponível em Formula 1 ®: <https://www.formula1.com/en/latest/article.watch-how-formula-1-is-striving-to-create-a-100-sustainable-fuel.1ENHVTjKDbXNOIidEJ8okc.html>
- (2021). Acesso em 23 de Outubro de 2021, disponível em Engineering Learn: <https://engineeringlearn.com/carburetor-types/>
- (2021). Acesso em 26 de Outubro de 2021, disponível em CETESB: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>
- (16 de Outubro de 2021). Acesso em 16 de Outubro de 2021, disponível em Toronto Auto Peças: <https://www.torontoautopecas.com.br/mecanica/coletor-admissao/coletor-de-admissao-fluence-2-0-2011-2012-2013-2014-2015-2016-2017-2018-original>
- (30 de Outubro de 2021). Fonte: Jaguar Daimler Club Holland: <https://www.jdch.nl/techniek/de-supercharger-van-een-xkr/>

(28 de Junho de 2021). Acesso em 08 de Fevereiro de 2022, disponível em National Geographic Brasil:
<https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2021/06/carregar-carros-eletricos-sera-tao-rapido-quanto-abastecer-nos-postos-de-combustiveis>

ABVE. (Janeiro de 2022). Acesso em 23 de Janeiro de 2022, disponível em
<http://www.abve.org.br/eletrificados-batem-todas-as-previsoes-em-2021/>

ANFAVEA. (2014). Acesso em 12 de Outubro de 2021, disponível em <https://www.anfavea.com.br/>

ANFAVEA/BCG. (2021). *ANFAVEA/BCG*. Acesso em 20 de Fevereiro de 2022, disponível em ANFAVEA/BCG: <https://anfavea.com.br/docs/apresentacoes/APRESENTA%C3%87%C3%83O-ANFAVEA-E-BCG.pdf>

ANP, A. N. (2014). Acesso em 10 de Outubro de 2021, disponível em
<http://www.anp.gov.br/?pg=46847&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1308232630632>

Aquela Máquina. (2017). Acesso em 11 de Outubro de 2021, disponível em
[https://cdn.aquelamaquina.pt/images/2017-05/img_944x629\\$2017_05_08_16_41_53_45694.jpg](https://cdn.aquelamaquina.pt/images/2017-05/img_944x629$2017_05_08_16_41_53_45694.jpg)

AutoEsporte. (Dezembro de 2019). Acesso em 23 de Outubro de 2021, disponível em
<https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2019/12/vantagens-da-injecao-direta-do-novo-hyundai-hb20-e-por-que-o-novo-onix-nao-tem.ghtml>

Automotiva, A. B. (2020). *ROADMAP TECNOLÓGICO AUTOMOTIVO BRASILEIRO*.

Borges, R. (9 de Agosto de 2021). *Uol Carros*. Acesso em 30 de Agosto de 2021, disponível em
<https://www.uol.com.br/carros/reportagens-especiais/etanol-x-eletricos>

BOSCH. (2004). *Automotive Handbook*.

BRUNETTI, F. (2012). *Motores de combustão interna: volume 1 e 2*. São Paulo: Blucher.

Canal da Peça. (2013). Acesso em 21 de Outubro de 2021

Centro Automotivo. (2018). Acesso em 27 de Outubro de 2021, disponível em
<https://blog.lecentroautomotivo.com.br/conheca-as-principais-partes-do-motor-do-carro+277262>

Cobli Blog. (27 de Novembro de 2020). Fonte: <https://www.cobli.co/blog/ford-fusion-consumo-capacidade/>

- Da Luz, M. L. (14 de Janeiro de 2013). *Motores a Combustão Interna*. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Acesso em 22 de Setembro de 2021, disponível em <https://wp.ufpel.edu.br/mlaura/files/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combust%C3%A3o-Interna.pdf>
- Drive2. (2018). Acesso em 14 de Fevereiro de 2022, disponível em Drive2: <https://www.drive2.com/r/mitsubishi/galant/482731235399961611/>
- FERRARI, G. (1996). *Motori a combustione interna*. Torino.
- FGV ENERGIA. (2017). *Carros Eletricos*. Acesso em 12 de Outubro de 2021, disponível em https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf
- Ford, C. (2017). Acesso em 14 de Outubro de 2021, disponível em <https://www.ford.com.br/>
- Grande, P. (Fevereiro de 2019). Acesso em 06 de Outubro de 2021, disponível em <https://quatorrodas.abril.com.br/especial/conheca-os-tipos-de-carros-eletricos-e-hibridos-existent-no-mercado/>
- grande, P. C. (12 de Outubro de 2021). *Quatro Rodas*. Acesso em 09 de Fevereiro de 2022, disponível em Quatro Rodas: <https://quatorrodas.abril.com.br/carros-eletricos/eletricos-hibridos-ou-etanol-qual-e-o-futuro-do-carro-brasileiro/>
- Lang, F. (2001). *Máquinas térmicas à combustão interna de Otto e de Diesel*. Fonte: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_otto.htm
- Mahle. (2019). *Motores de Combustão Interna*. Aftermarket.
- Mayer, M. (2001). *Turbochargers- Effective use of exhaust gas energy*.
- Ministério da Ciência, T. I. (2020). Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. *Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações*, 7-8.
- Mobilidade Estadão*. (Janeiro de 2021). Acesso em 22 de Janeiro de 2022, disponível em Estadão: <https://mobilidade.estadao.com.br/inovacao/infraestrutura-para-carros-eletricos-e-hibridos-cresce-no-pais/>
- Molina Jr, W. (2016). *Motores de Combustão Interna*. São Paulo, Brasil. Fonte: <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/leb332/AULAS%202016/Aula%207%20->

%20Motores%20de%20combustao%20interna%20III_Prof%20Molina/Motores_Comb_Interna_Au
la%203.pdf

Nebras, S. (2003). *Maquinas Termicas. Motores alternativos de combustão interna*. Acesso em 22 de Setembro de 2021, disponível em http://www.fem.unicamp.br/~franklin/EM884/pdf/mot_alternat.pdf

Noticias Automotivas . (2016). Acesso em 15 de Outubro de 2021, disponível em <https://www.noticiasautomotivas.com.br/o-que-e-e-para-que-serve-o-carburador/>

Noticias Automotivas. (2019). Acesso em 22 de Outubro de 2021, disponível em <https://www.noticiasautomotivas.com.br/uno-turbo/>

ONU. (11 de Novembro de 2021). *ONU*. Acesso em 5 de Janeiro de 2022, disponível em Nações Unidas: <https://news.un.org/pt/story/2021/11/1770162>

Paoli, L., & Gül, T. (Janeiro de 2022). *IEA*. Acesso em 07 de Fevereiro de 2022, disponível em IEA: <https://www.iea.org/commentaries/electric-cars-fend-off-supply-challenges-to-more-than-double-global-sales>

QUATRO RODAS. (3 de Maio de 2021). Acesso em 11 de Janeiro de 2022, disponível em QUATRO RODAS: <https://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/como-e-calculada-a-potencia-dos-hibridos-com-motores-a-combustao-e-eletricos/>

QUATRO RODAS. (5 de Agosto de 2021). *QUATRO RODAS*. Acesso em 11 de Dezembro de 2021, disponível em QUATRO RODAS: <https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/carros-eletricos-polui-menos-motor-combustao/>

Reset. (Agosto de 2021). Acesso em 22 de Janeiro de 2022, disponível em <https://www.capitalreset.com/na-transicao-energetica-a-brasileira-toyota-aposta-nos-hibridos-flex/>

SEEG BRASIL. (2021). Acesso em 25 de Janeiro de 2022, disponível em <https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/energia>

Silva, V. (Ed.). (05 de Novembro de 2019). Acesso em 28 de Setembro de 2021, disponível em Automotive Business: <https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/artigo/o-caminho-do-downsizing-no-brasil/>

Tillmann, C. (2013). *Motores de Combustão Interna e seus Sistemas* . Pelotas-RS.

Tuning Parts. (10 de Outubro de 2014). Acesso em 15 de Outubro de 2021, disponível em <http://blog.tuningparts.com.br/historia-da-injecao-de-combustivel/>

Uol. (3 de Setembro de 2018). *Uol*. Acesso em 20 de Fevereiro de 2022, disponível em Uol: <https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2018/09/03/ficou-bom-novas-regras-para-ipi-nao-significam-carro-eletrico-mais-barato.htm>

VIDAL, J. (2000). *Civilização Suicida*. Brasília: Star Print Gráfica e Editora.

ZHAO, F. . (1999). *Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines*. . Detroit, Estados Unidos da América: PERGANOM.