



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**THULYO NASCIMENTO NEDER**

**DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA TRANSIÇÃO NA INDÚSTRIA  
AUTOMOTIVA**

**OURO PRETO - MG**  
**2022**

**THULYO NASCIMENTO NEDER**

**tneder96@gmail.com**

**DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA TRANSIÇÃO NA INDÚSTRIA  
AUTOMOTIVA**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

**Professor orientador:** DSc. Edson Alves Figueira Júnior.

**OURO PRETO – MG  
2022**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

N371d NEDER, Thulyo Nascimento.

Desafios e perspectivas da transição na indústria automotiva.  
[manuscrito] / Thulyo Nascimento NEDER. - 2022.  
103 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Edson Alves Figueira JÚNIOR.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Indústria Automotiva. 2. Mobilidade. 3. Energia. I. JÚNIOR, Edson  
Alves Figueira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Thulyo Nascimento Neder**

### **Desafios e perspectivas da transição na indústria automotiva**

Monografia apresentada ao Curso de engenharia mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro mecânico

Aprovada em 06 de Abril de 2022

#### Membros da banca

DSc - Edson Alves Figueira Júnior - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
DSc - Luís Antônio Bortolaia - Universidade Federal de Ouro Preto  
DSc - Cláudio Marcio Santana - Universidade Federal de Ouro Preto

Edson Alves Figueira Júnior, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 13/06/2022



Documento assinado eletronicamente por **Edson Alves Figueira Junior, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/06/2022, às 17:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Claudio Marcio Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/06/2022, às 09:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Antonio Bortolaia, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 30/06/2022, às 10:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0309594** e o código CRC **27F3CF8B**.

## AGRADECIMENTO

Se eu pudesse reescrever minha história nos últimos anos, não alteraria nenhuma linha. É difícil expressar a felicidade e a gratidão pelas conquistas, momentos, oportunidades e pessoas que encontrei ao longo da trajetória e que tiveram extrema contribuição para o meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela saúde física e mental e pelo dom e privilégio da vida. Aos meus pais, por nunca pouparem esforços e sempre apoiarem minhas decisões. Para toda minha família e amigos, também dedico essas vitórias.

Um agradecimento especial para Alemanha, país que me concedeu vivenciar outra realidade, através de experiências únicas e conquistas que antes imaginava ser um sonho distante. À *BMW* pelos desafios, oportunidades incríveis e por acreditar em meu potencial. Às instituições *Ludwig-Maximilians-Universität München*, *Fakultät Technik der Hochschule Reutlingen* e *Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD)* por disponibilizarem qualidade de educação, ensino e suporte diferenciado aos estudantes estrangeiros.

À *Philips Lighting (Signify)* pela oportunidade profissional. Sou grato pelos ensinamentos.

À Escola de Minas de Ouro Preto, por sua nobre referência como instituição de Engenharia e aos doutores e mestres que mantêm o destaque no nível de educação oferecido. É uma honra participar dessa história.

Por fim, o reconhecimento para Ouro Preto-MG, lugar que proporcionou os anos mais intensos da minha vida e aos que compartilharam essa experiência. Ao Bloco do Caixão pelos aprendizados, circunstâncias e desafios. À Associação Desportiva da Escola de Minas (ADEM) e ao Centro Acadêmico da Escola de Minas (CAEM) pelos bons acontecimentos. Às Repúblicas Pif-Paf, Cosa Nostra, Ninho do Amor, Verdes Mares, Pasárgada e Casanova pela parceria. E, principalmente, à República Necrotério, minha casa e família em Ouro Preto-MG, que entregou lembranças que jamais apagarei da memória.

*“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.”*

Ayrton Senna

## RESUMO

NEDER, Thulyo Nascimento. Desafios e Perspectivas da Transição na Indústria Automotiva. Monografia – Graduação em Engenharia Mecânica. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 2022.

Um tema de forte relevância para as tendências da contemporaneidade que, quando investigado diante de uma circunstância mais crítica sobre o aspecto cultural, econômico, político, social e, principalmente, energético, submete perspectivas desalinhadas com as promessas de mobilidade acessível, inclusiva e sustentável. A transição na indústria automotiva, orientada na absoluta substituição dos automóveis a combustão por automóveis elétricos, evidentemente ainda não é a alternativa que condiz e corresponde aos propósitos iniciais que desencadearam esse fenômeno. Um estudo que, a partir de opiniões técnicas que complementem e justifiquem os desdobramentos concretos, busca traçar panoramas mais realistas para a indústria automotiva, evidenciando a mobilidade integral e multimodal como a principal possibilidade para contornar as limitações oferecidas pelo processo.

**Palavras-chave:** Indústria Automotiva. Mobilidade. Energia.

## **ABSTRACT**

*NEDER, Thulyo Nascimento. Challenges and Perspectives of the Transition in the Automotive Industry. Final Thesis – Bachelor in Mechanical Engineering. School of Mining, Federal University of Ouro Preto. 2022.*

*A topic of strong relevance to the trends of contemporaneity that, when investigated in the face of a more critical circumstance on the cultural, economic, political, social and, mainly, energy aspects, submits perspectives misaligned with the promises of accessible, inclusive and sustainable mobility. The transition in the automotive industry, oriented towards the absolute substitution of combustion automobiles by electric automobiles, is evidently not yet the alternative that corresponds and matches to the initial purposes that triggered this phenomenon. A study that, based on technical opinions that complement and justify the concrete developments, seeks to draw more realistic panoramas for the automotive industry, highlighting the integral and multimodal mobility as the main possibility to circumvent the limitations offered by the process.*

**Keywords:** *Automotive Industry. Mobility. Energy.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Combinação de Possíveis Alternativas Para a Movimentação. ....	8
Figura 2: Pirâmide da Mobilidade Urbana .....	11
Figura 3: Espaço no Trânsito de Acordo com o Tipo de Transporte.....	12
Figura 4: Patente nº 37435 “ <i>Vehicle powered by gas engine</i> ” de 29 de janeiro de 1886 é o nascimento certificado do automóvel. ....	13
Figura 5: Exemplos de Cartas do Jogo <i>Top Trumps</i> .....	14
Figura 6: Fluxos de massa e energia em um motor de combustão interna (MCI).....	19
Figura 7: Vista dos componentes de um motor de combustão interna – MCI .....	21
Figura 8: Ciclo Otto Ideal.....	24
Figura 9: Ciclo Otto Real.....	25
Figura 10: Ciclo Diesel Ideal.....	26
Figura 11: Motor V6 1.6 Litros Turbo – Mercedes-AMG .....	29
Figura 12: Evolução Histórica dos Veículos Elétricos.....	34
Figura 13: Classificação Geral dos Veículos Eletrificados Quanto à Fonte de Energia para Propulsão. ....	36
Figura 14: Principais Componentes dos Automóveis Elétricos. ....	38
Figura 15: Principais Componentes dos Automóveis Elétricos <i>Fuel Cell</i> .....	42
Figura 16: Célula a Combustível com uso de Membrana Trocadora de Prótons.....	44
Figura 17: Energia Solar, Painel Fotovoltaico e Efeito Fotovoltaico.....	48
Figura 18: Parque Eólico Costeiro ( <i>offshore</i> ) na baía de Copenhagen, Dinamarca. Fonte: Hinrichs <i>et al.</i> (2015, p. 497).....	50
Figura 19: Modelo de Usina Hidrelétrica .....	51
Figura 20: Síntese de uma Usina Nuclear. Fonte: Bezerra <i>et al. apud</i> BlueRingMedia/Shutterstock.com (2018, p. 32) .....	52
Figura 21: Foto Aérea do Vazamento de Petróleo no Golfo do México, em 2010.....	55
Figura 22: Energia nos Estados Unidos.....	56

Figura 23: Participação Global da Geração de Energia Elétrica, 2019. ....	57
Figura 24: Participação Global do Fornecimento Total de Energia Por Fonte, 2019.....	57
Figura 25: Uso Global de Energia e Emissões de CO <sub>2</sub> Relacionadas à Energia Por Setor, 2019. .....	59
Figura 26: Volvo C40 Elétrico. ....	62
Figura 27: Pegada de carbono para o XC40 MCI e C40 Elétrico, com diferentes misturas de eletricidade utilizadas para o C40 Elétrico. Os resultados são apresentados em toneladas de CO <sub>2</sub> equivalentes por unidade funcional. ....	63
Figura 28: Diagrama de ponto de equilíbrio (compensação) entre o XC40 MCI (linha tracejada) e C40 Elétrico (com diferentes misturas de eletricidade na fase de utilização). ....	65
Figura 29: Enfoques da Pesquisa.....	69
Figura 30: Microgeração de Energia Elétrica.....	81
Figura 31: Carro solar.....	82
Figura 32: Transformação de Energia Para Propulsão vs. Tipo de Veículo.....	92
Figura 33: Amsterdam em 1970 e 2019. ....	95

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Análise PESTLE das influências do setor automotivo na era digital. ....	15
Tabela 2: Motores 2T e 4T. ....	20
Tabela 3: Componentes de um Motor Ciclo Diesel. ....	21
Tabela 4: Vantagens e Desvantagens dos Motores de Combustão Interna ....	23
Tabela 5: Comparação dos motores a 1500 RPM, gerando 32 N.m de torque ....	30
Tabela 6: Comparação dos motores a 2000 RPM, gerando 45 N.m de torque.....	31
Tabela 7: Comparação dos motores a 2500 RPM, gerando 30 N.m de torque.....	31
Tabela 8: Comparação do Custo de Abastecimento do Carro a Combustão e Elétrico. ....	39
Tabela 9: Vantagens e Desvantagens dos Automóveis Elétricos. ....	39
Tabela 10: Pegada de carbono para o XC40 MCI e C40 Elétrico, com diferentes misturas de eletricidade utilizadas para o C40 Elétrico. Os resultados são apresentados em toneladas de CO <sub>2</sub> equivalentes por unidade funcional e por fase no ciclo de vida. ....	64
Tabela 11: Variáveis e Indicadores. ....	72

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	4
1.3	Objetivos.....	5
1.3.1	Geral .....	5
1.3.2	Específicos.....	5
1.4	Estrutura do Trabalho .....	6
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>7</b>
2.1	O Automóvel e a Indústria Automotiva .....	7
2.2	A Mobilidade.....	7
2.2.1	Mobilidade Sustentável .....	10
2.3	O Contexto da Indústria Automotiva e a Revolução da Mobilidade.....	12
2.4	Tipos de Automóveis.....	16
2.4.1	Automóveis de Motores de Combustão Interna e a Autopropulsão Convencional 17	
2.4.2	Automóveis Elétricos .....	32
2.4.3	Automóveis Elétricos a Célula de Combustível ou <i>Fuel Cell Electric Vehicle</i> ...	41
2.5	A Energia.....	46
2.5.1	Energia e Suas Formas .....	46
2.5.2	Gestão do Uso da Energia .....	53
2.6	Relatório da Pegada de Carbono do Volvo C40 Elétrico .....	62
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>67</b>
3.1	Tipo de Pesquisa.....	67
3.2	Materiais e Métodos .....	71
3.3	Variáveis e Indicadores .....	71
3.4	Instrumento de Coleta de Dados.....	73
3.5	Tabulação dos Dados.....	74
3.6	Considerações Finais do Capítulo .....	74
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
4.1	Perspectivas Para Automóveis Elétricos .....	76
4.1.1	Postos de Combustíveis Como Centros e Estações Para Baterias Recarregadas	76
4.1.2	Conversão de Automóveis a Combustão em Elétricos.....	78

	vii
4.1.3	Geração Isolada e Própria de Energia Elétrica ..... 80
4.1.4	Flexibilidade da Fonte de Propulsão ..... 82
4.1.5	O Estado Como um Aliado..... 83
4.1.6	Aplicabilidade da Mobilidade Elétrica Relacionada ao Condutor ..... 83
4.2	Perspectivas Para Automóveis a Combustão..... 84
4.3	Perspectivas Para Automóveis Híbridos..... 87
4.4	Perspectivas Para Automóveis Movidos a Hidrogênio ( <i>fuel cell</i> )..... 87
4.5	A Cultura do <i>Motorsport</i> ..... 89
4.6	Embarcações e Aeronaves ..... 89
4.7	A Criticidade e Vulnerabilidade do Petróleo..... 90
4.8	Energia e Propulsão de Automóveis..... 91
4.9	O <i>Status</i> Cultural da Propriedade Sobre um Automóvel ..... 93
4.10	A Importância do Transporte Público de Qualidade e as Alternativas Simples de Mobilidade..... 93
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES ..... 96</b>
5.1	Conclusões..... 96
5.2	Recomendações ..... 97
	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA ..... 99</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, a humanidade sempre buscou modos e meios de transporte que contribuíssem para superar distâncias espaciais e tornar o deslocamento mais fácil. Durante milhares de anos, os cavalos desempenharam papel fundamental nessa função (WEDENIWSKI, 2015).

Uma mudança significativa ocorreu em 1886, quando o engenheiro alemão Carl Benz inventou o automóvel moderno (WEDENIWSKI, 2015). Tal transição inovou a mobilidade e criou um novo contexto vinculado a vários fatores.

Mais de 100 anos depois da última grande mudança, a indústria automotiva se depara com novos desafios e, por conta de uma série de aspectos globais, precisa se reestruturar no sentido de atender às imposições e alcançar sucesso diante das novas perspectivas (NIEUWENHUIS e WELLS, 2015).

### 1.1 Formulação do Problema

A deterioração das condições ambientais, as políticas de desenvolvimento sustentável, os programas de ação global, a questão do suprimento da demanda energética, a limitação de combustíveis, os interesses políticos, econômicos e sociais, a busca por alternativas mais viáveis de mobilidade e o pioneirismo na inovação tecnológica, são os principais catalisadores da transição na indústria automotiva, com tendência ao fim dos automóveis a combustão (FERNANDES, 2017). Até então, os automóveis elétricos vêm sendo considerados a principal evidência e alternativa para substituir a frota a combustão.

Mesmo com objetivos bastante promissores e considerando os benefícios proporcionados pelos veículos elétricos, as ações até então adotadas e o planejamento para implementação da nova mobilidade, ignoram o contexto em que a indústria automotiva se insere no momento. Além disso, existe um certo desalinhamento entre o progresso na inovação da mobilidade elétrica e todo o meio em que a mesma está inserida, o que impede a evolução do processo. Segundo Fernandes (2017), vários são os questionamentos a respeito da viabilidade de tal substituição em alguns países da Europa.

Ao mesmo tempo em que são encontradas alternativas para a transição na indústria automotiva, novos limitadores também são evidenciados para os automóveis elétricos: o valor; o destino da frota a combustão; o conservadorismo de muitos usuários; a autonomia, o descarte e as atividades de mineração para produção das baterias; o tempo de recarga; a disponibilidade

de pontos de recarga; a infraestrutura necessária para atender à demanda; a dependência do apoio público e do poder do Estado em geral; o elevado nível de emissões de CO<sub>2</sub> na fabricação das baterias; e a origem da energia elétrica que irá alimentar tais veículos (FERNANDES, 2017). Situação que destaca uma análise isolada e justifica a inabilidade em construir o cenário integrado, comprometendo, assim, o desenvolvimento dessa transição.

De acordo com Brigato (2020) e Matsubara (2021), o JAC iEV20 é, dentre os poucos mais de 10 modelos disponíveis no Brasil, o carro elétrico mais barato no país. Sua versão inicial custa R\$ 161.114,00, segundo a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas – FINE (2021). Já o carro a combustão mais barato do país, conforme mencionado por Villaça (2021), é o Fiat Mobi Easy 1.0, com versão inicial custando R\$ 42.077,00 – valor informado pela FINE (2021). A diferença entre os valores do carro elétrico e a combustão, com base nos modelos de entrada apresentados, é bastante significativa, onde o preço do segundo equivale a menos de um terço do primeiro. Considerando que já existe uma dificuldade atual para a compra de um carro, mesmo sendo o mais barato e a combustão, é evidente que essa dificuldade irá aumentar ainda mais, se a imposição da mobilidade elétrica se tornar uma exigência – situação que intensifica a elitização dos automóveis. A exemplificação acima foi baseada no Brasil, porém, ainda que em contextos diferentes, a situação também é realidade em todos os países do mundo.

O destino da frota dos veículos a combustão também é um fator importante no planejamento dessa transição, já que muitos programas objetivam proibir de vez os carros não elétricos. No Acordo de Paris em 2015, mais de 10 montadoras se comprometeram com metas de vendas de veículos elétricos com forte incentivo à campanha entre os períodos de 2020 e 2025 (G1, 2017). Ainda de acordo com o G1 (2017), o Reino Unido, por exemplo, já anunciou um plano para acabar com os carros movidos a combustíveis fósseis até 2050. A mesma realidade também é notável em outros países europeus. Ainda que seja necessário um certo tempo para a transição, a redução dos veículos a combustão é, evidentemente, uma tendência mundial. Considerando que o princípio para a transição seria basicamente a compra de um veículo elétrico, é questionável o destino dos veículos a combustão e a viabilidade de tal destino para os proprietários.

Em países onde a transição na mobilidade está mais acelerada, as filas de espera em pontos de recarga de veículos é uma realidade, até mesmo em países desenvolvidos (FERNANDES, 2017). Tal situação deixa clara a limitação dos recursos para atender à inovação. O fato é que a instalação de pontos de recarga para os veículos elétricos não se trata de uma ação das empresas automobilísticas apenas, e sim, de uma parceria dessas com a

iniciativa governamental (FERNANDES, 2017). Em muitos casos, o Estado ainda não acompanha o progresso da indústria, o que é um pouco contraditório.

O tempo de espera para recarga dos veículos elétricos é uma pauta na viabilidade para/com os usuários. Por mais que já existam tecnologias avançadas como é o exemplo do `IONITY`, que aceleram a recarga e diminuem o tempo de espera (IONITY, 2020), ainda haverá espera. Um veículo elétrico possui uma autonomia média de 400 km. Exemplificando uma viagem superior a essa quilometragem, o motorista terá que esperar a recarga para seguir viagem. Tal situação é inviável e não satisfatória para muitos usuários.

Em relação à infraestrutura, pode-se pensar no futuro dos postos de combustível. Com a extinção ou redução dos veículos a combustão, a necessidade para esse abastecimento também cessa e toda uma reorganização do sistema é necessária. O que não é simples.

Além disso, essa transição deve ser realizada de maneira sustentável para se justificar. Não basta simplesmente evoluir em mobilidade elétrica sem buscar fazer o processo todo o mais sustentável possível. Um fato bastante interessante trata-se das ações executadas pelo BMW Group, que é pioneiro na combinação de sustentabilidade na indústria do veículo elétrico (BMW, 2020). A empresa consegue manter um forte monitoramento com controle do ciclo da bateria desde a extração da matéria-prima até a reciclagem, tentando garantir que apenas energia limpa faça parte do processo e ainda investindo em fontes de energia renováveis e firmando acordos contratuais com seus fabricantes, para que os mesmos desempenhem as etapas de maneira sustentável (BMW, 2020).

Fernandes (2017, página única) ainda apresenta perspectivas relevantes quanto à preocupação da energia necessária para `abastecer` os automóveis elétricos:

Especialistas afirmam que na França seria necessário construir uma central nuclear para alimentar uma frota nacional de carros elétricos. Na China, causa grande preocupação entre ambientalistas o fato de grande parte da energia elétrica local ser produzida por usinas térmicas a carvão.

O Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE, 2021) afirma que a atual crise energética que vem preocupando o mundo é resultado de dois fatores principais: um decorrente da pandemia em 2020 e 2021 e outro, relacionado à transição de matrizes de energia mais `suja` para as renováveis e mais limpas. A mesma fonte ainda destaca que as áreas mais afetadas são as que dependem dos recursos renováveis que, por sua vez, são influenciadas pela sazonalidade natural para produção de energia.

O panorama atual em que se encontra a mobilidade elétrica, faz refletir sobre a busca e análise por outras alternativas para indústria automobilística, necessitando, assim, de uma comparação. Eduardo (2020) destaca, além dos veículos elétricos, outros segmentos e opções aos combustíveis fósseis, dentre elas: veículos híbridos, veículos movidos a GNV (Gás Natural Veicular), veículos a etanol, veículos a biodiesel e veículos movidos a hidrogênio, também conhecido como *fuel cell*.

Destaca-se nesta contextualização a eficiência do motor Mercedes-AMG, destinado às competições de Fórmula 1. O motor V6 1.6 litros turbo da marca atingiu uma eficiência energética superior a 50%, representando um marco importante na história de 140 anos dos motores a combustão interna (MCI) (COSTA, 2017). Para mais, a maior competição automobilística do mundo também se comprometeu em desenvolver um combustível 100% sustentável que poderá ser utilizado nos automóveis ao redor do mundo, enfatizando, ainda, que outras soluções, além dos veículos elétricos, são necessárias para a mobilidade sustentável (F1, 2021).

Isto é, a transição na indústria automotiva seguindo o panorama em questão, mesmo que seja um passo na direção certa, ainda não resulta nos objetivos propostos no planejamento inicial. Perante ao exposto, faz-se necessário, então, uma revisão e uma análise crítica considerando um contexto mais realístico sobre as medidas adotadas e os rumos que tal transição irá tomar, no sentido de direcionar melhor as soluções para alguns problemas, propor sugestões e contornar limitações que o processo vem oferecendo. A questão principal é conseguir combinar todos os fatores citados de modo a atender às expectativas dos usuários da mobilidade.

Sendo assim, tem-se a seguinte pergunta problema:

**Como viabilizar a transformação na mobilidade, considerando os desafios e perspectivas da transição na indústria automotiva?**

## **1.2 Justificativa**

Nieuwenhuis e Wells (2015) defendem que a indústria automotiva sempre precisa se reinventar. Tal ideia é ainda mais evidenciada com a grande mudança em que o setor está inserido. As direções que a transição tem executado, ainda não se alinha, na maioria das vezes, com os objetivos e justificativas preliminares traçados. O princípio de mobilidade inclusiva e

de baixas emissões não é realidade no contexto atual, o que requer um esclarecimento mais detalhado das práticas adotadas e perspectivas.

Um estudo do processo diante de uma visão mais crítica, condizente e ampla, que destaque os desafios e perspectivas da transição na indústria automotiva, bem como uma análise exploratória das alternativas existentes, é capaz de propor e sugerir melhorias para driblar certas limitações, viabilizar a acessibilidade e encaminhar para o sucesso. Não se trata de uma situação simples, uma vez que a alteração se encontra direta e indiretamente conectada a vários aspectos que possuem uma complexidade considerável.

É um tópico de forte destaque, por representar uma tendência mundial no sentido da mudança, independente da opção a ser considerada. Pesquisar a viabilidade, considerando o panorama e comparar as alternativas, permite vantagens e ganhos econômicos, políticos, sociais, ambientais, industriais, tecnológicos e energéticos, que podem ter relevância nas predisposições futuras da transição.

Os assuntos que norteiam o sistema ganham espaço nas discussões nos maiores comitês internacionais. A indústria automotiva, bem como sua transição, possui participação significativa em tal processamento e merecem cuidado especial para pesquisa.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Desenvolver um estudo sobre os desafios e perspectivas da transição na indústria automotiva que evidencie criticamente as direções atuais do processo e viabilize a transformação na mobilidade de maneira mais acessível, perante ao contexto inserido e alternativas existentes.

#### **1.3.2 Específicos**

- Realizar revisão bibliográfica acerca do automóvel e da indústria automotiva; da mobilidade; da energia; e dos desdobramentos relacionados aos tópicos mencionados;
- Mostrar que os automóveis elétricos ainda não cumprem a promessa de mobilidade acessível, inclusiva e sustentável;
- Defender a permanência dos automóveis a combustão como modalidade complementar para as perspectivas futuras da indústria automotiva;

- Discutir as direções que a transição na indústria automotiva tem traçado, com base nos objetivos preliminares;
- Analisar criticamente os argumentos que sustentam as várias alternativas para os automóveis;
- Propor sugestões, melhorias e opiniões técnicas fundamentadas para viabilizar a transição na indústria automotiva de maneira acessível, inclusiva e sustentável, considerando os desafios e perspectivas do cenário.

#### **1.4 Estrutura do Trabalho**

O referido trabalho estrutura-se em cinco capítulos de modo a organizar a abordagem de todo conteúdo a ser explorado. O primeiro capítulo consiste na apresentação geral do tema proposto e da perspectiva a ser realizada, por intermédio da introdução, da formulação do problema a ser estudado, da justificativa para a realização do trabalho e dos objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo aborda a revisão bibliográfica, isto é, a fundamentação teórica dos tópicos relacionados direta e indiretamente ao tema e que são a base para suportar os argumentos defendidos. As principais concepções desenvolvidas no capítulo em questão são relacionadas aos automóveis, indústria automotiva, mobilidade e energia. Trata-se de uma etapa fundamental para a aplicação dos conceitos técnicos no trabalho proposto e para a coleta de informações pertinentes e de interesse do desdobramento da pesquisa, a partir da recorrência às literaturas de referência.

O terceiro capítulo trata da metodologia empregada para a pesquisa e as propostas para realizá-la. É descrita a elaboração das teorias, a definição das variáveis e indicadores e outros recursos relevantes para o projeto.

O quarto capítulo dedica-se aos resultados alcançados com o estudo desenvolvido, bem como as discussões significativas sobre o mesmo. É destacado, também, os reais desafios e as perspectivas futuras expressivas para o tema.

Por fim, o quinto e último capítulo reporta as principais conclusões encontradas pelas análises praticadas e as recomendações decorrentes do estudo, a fim de responder a problemática deste trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O Automóvel e a Indústria Automotiva

A indústria automotiva é aquela envolvida com o projeto, desenvolvimento, fabricação, publicidade e venda de automóveis e é uma das que mais merece destaque quanto ao nível de complexidade e avanço tecnológico (NIEUWENHUIS e WELLS, 2015). A criação e desenvolvimento de um automóvel envolve fases múltiplas, incluindo design, engenharia, serviços, manufatura, compras e vendas, distribuição e atendimento e, cada uma das etapas, consiste em numerosos processos complexos e tecnologias que requerem integração total em um único sistema; garantir o sucesso do sistema a nível empresarial, não é uma tarefa fácil (WEDENIWSKI *apud* CURIC, 2015).

O produto final da indústria automotiva, o automóvel, é definido por Ferreira (1995), como qualquer veículo que se movimenta com o auxílio de um motor, que se move por conta própria, sem interferência exterior. A etimologia da palavra automóvel vem de *auto*, por si mesmo, e *móvel*, que se move, influenciado pelo francês *automobile* (FERREIRA, 1995). A função primária do automóvel é a mobilidade, movimentação e transporte (WEDENIWSKI, 2015).

Veículo, por sua vez, é qualquer mecanismo destinado ao transporte de pessoas e mercadorias (FERREIRA, 1995). Etimologicamente tratando, a palavra veículo é derivada do latim *vehiculum* que significa meio de transporte.

### 2.2 A Mobilidade

A mobilidade envolve tanto o deslocamento físico, quanto suas representações e significados (MARANDOLA JR *apud*. CRESSWELL, 2018). Pode ser entendida como a relação social ligada à mudança de lugar, isto é, conjunto de modalidades pelas quais os membros de uma sociedade tratam a possibilidade de ocuparem sucessivamente vários lugares (MARANDOLA JR *apud*. LÉVY, 2018). “Esse entendimento implica dissociar da mobilidade, as concepções metafóricas como mobilidade social ou como extensões incontroladas, pois estas reduzem mobilidade ao mero deslocamento” (MARANDOLA JR, 2018). Isto é, o contexto de mobilidade não se reduz à compreensão e ao atendimento das necessidades de deslocamento das pessoas e das coisas, mas insere-se e impacta em ambiente muito mais complexo, o da própria organização das cidades e das atividades nelas executadas.

As Revoluções Industriais trouxeram, entre inúmeras mudanças na vida social e econômica, a separação entre os locais de residência e de trabalho, por exemplo, e, a partir daí, a necessidade diária de deslocamento das pessoas entre esses dois locais. Um dos grandes desafios das novas gerações é que a urbanização e o aumento da concentração de pessoas sem o planejamento adequado inviabilizam a mobilidade urbana (MARANDOLA JR, 2018). A preferência pelo transporte individual e a escassez de ciclovias e transporte público nas cidades brasileiras, por exemplo, são, com frequência, geradores de acidentes, congestionamentos e mais gases do efeito estufa (MARANDOLA JR, 2018). Cenário esse que afeta negativamente a qualidade de vida dos cidadãos.

A mobilidade pode representar duas vertentes: a de movimentação e a de transporte. A movimentação refere-se à mobilidade de pessoas, passageiros, e suas atividades, como o ir e vir à residência, ao trabalho, aos centros educacionais e comerciais, ao lazer, entre outros (MARANDOLA JR, 2018). O transporte, por sua vez, refere-se à mobilidade de cargas e objetos em geral (MARANDOLA JR, 2018). A Figura 1 ilustra algumas possibilidades para a movimentação:

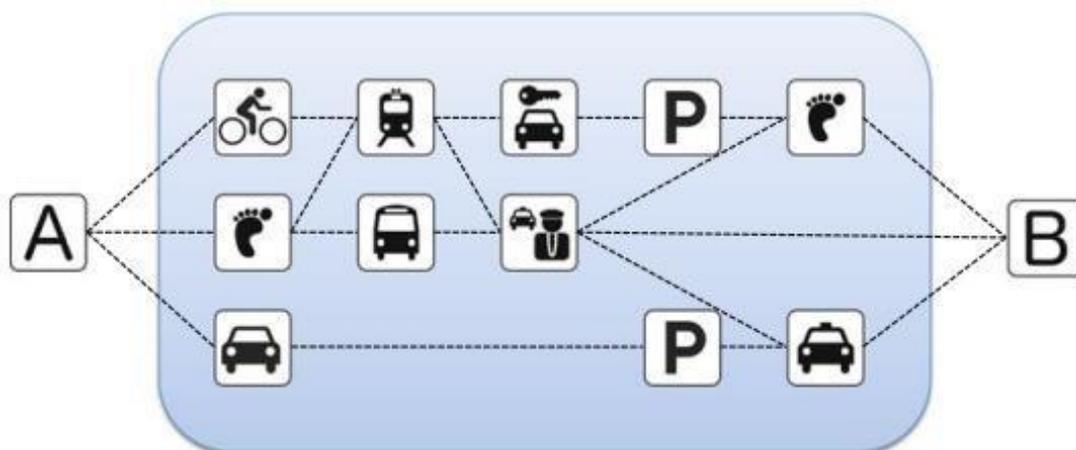


Figura 1: Combinação de Possíveis Alternativas Para a Movimentação.  
Fonte: Adaptado de Wedeniwski (2015).

Os exemplos de alternativas exibidos, referem-se aos serviços de mobilidade que integram possibilidades para superar distâncias espaciais e que levam em consideração as preferências dos usuários (WEDENIWSKI, 2015).

O tamanho, a duração e a complexidade dos trajetos diários que a sociedade precisa fazer estão em crescente aumento nas regiões metropolitanas (MARANDOLA JR, 2018).

Muito tempo é perdido no automóvel particular ou no transporte coletivo, público, seja porque a distância realmente seja longa ou seja pelo fato de o trânsito não ter condições de trafegabilidade (MARANDOLA JR, 2018). Os custos aumentam na mesma proporção da necessidade de melhorias em infraestrutura e, além disso, com as dificuldades de gestão da mobilidade, o trânsito, a infraestrutura viária e os sistemas de transportes públicos apresentam um dos mais importantes gargalos a se resolver em uma região integrada – uma das tarefas mais complexas para o planejamento e gestão compartilhada (MARANDOLA JR *apud.* JUNQUEIRA, 2018).

Diante disso, é destacada a importância da mobilidade e da acessibilidade como um dos principais temas da mobilidade contemporânea como princípios e não resultados, sendo cruciais na própria apropriação da urbanização dentro de padrões democráticos de convívio e consumo (MARANDOLA JR *apud.* MEYER *et al.*, 2018). É evidente que a acessibilidade e a mobilidade serão viesadas por fatores que devem ser levados em consideração quando se analisa o significado de mobilidade, tais como renda, gênero, idade, ocupação e nível educacional; cada um desses com diferentes dimensões de interferência na vida dos indivíduos (MARANDOLA JR *apud.* VASCONCELLOS, 2018). Exceto o âmbito técnico dos transportes, pode-se compreender as diferentes necessidades dos habitantes e suas respectivas dificuldades de acessibilidade, em busca de uma perspectiva mais abrangente e crítica diante da problemática. Ainda segundo Marandola Jr *apud.* Meyer *et al.* (2018), essas diferenças atingirão cada parcela da população de acordo com suas limitações e recursos, caracterizando as vulnerabilidades frente à mobilidade. Ainda existe um desalinhamento no que tange à distribuição da moradia de acordo com a renda e ao transporte, isto é, a estrutura urbana não se encontra otimizada.

“A mobilidade influencia a reprodução social do cotidiano e os estilos de vida de diferentes classes sociais” (MARANDOLA JR *apud.* JARVIS *et al.*, 2018, p. 107). Se torna um fenômeno social total, incluindo estilo de vida, experiência individual e modo de funcionamento de certas sociedades (MARANDOLA JR *apud.* BOURDIN, 2018). A mobilidade repercute de forma integral na experiência, gerando tanto uma transição mobiliária quanto demográfica. Marandola Jr *apud.* Moreira (2007, p. 107) ainda salienta:

é a mobilidade como modo de organização que age sobre a localidade, mas ela assim faz em função da experiência (e das formas do estilo de vida) cuja constituição ela permite. Fundamento da modernidade líquida, ela fluidificaria até os espaços, tornando-os permeáveis e colocando a mobilidade territorial no centro da sociedade contemporânea.

### 2.2.1 Mobilidade Sustentável

O êxodo rural sinalizou um marco de mudança importante no contexto das sociedades. Milhões de pessoas deixaram o campo e passaram a viver em grandes cidades e, junto a isso, uma série de desafios relacionados a mobilidade sustentável (SUMMIT MOBILIDADE URBANA, 2021). A inexistência de um planejamento prévio suficiente para preparar as cidades ocasionaram em problemas relacionados a resíduos, saneamento básico, tratamento de água, habitação, moradia, mobilidade, transporte, entre outros (SUMMIT MOBILIDADE URBANA, 2021). De acordo com os ambientalistas, o meio ambiente passou a ser afetado de forma inédita diante do novo modelo de vida.

O *World Business Council for Sustainable Development – WBCSD* define a mobilidade sustentável como a capacidade de atender às necessidades da sociedade de se locomover livremente, ter acesso, se comunicar, realizar trocas e estabelecer relações sem sacrificar outros valores humanos e ecológicos fundamentais, hoje ou no futuro (CEBDS, 2004). Alternativas tais como biocombustíveis, veículos elétricos, bicicletas, mobilidade ativa, modais coletivos, entre outros dessa vertente fazem parte do vocabulário de quem se preocupa com uma mobilidade urbana sustentável (SUMMIT MOBILIDADE URBANA, 2021).

A conquista da mobilidade sustentável, requer a definição de objetivos e indicadores de sustentabilidade, a fim de estabelecer políticas que visam, não somente, a melhoria das condições de mobilidade, mas também a sua acessibilidade cultural, econômica, energética, política e social. A Figura 2 exibe uma pirâmide ilustrando a influência das alternativas de transporte na mobilidade:

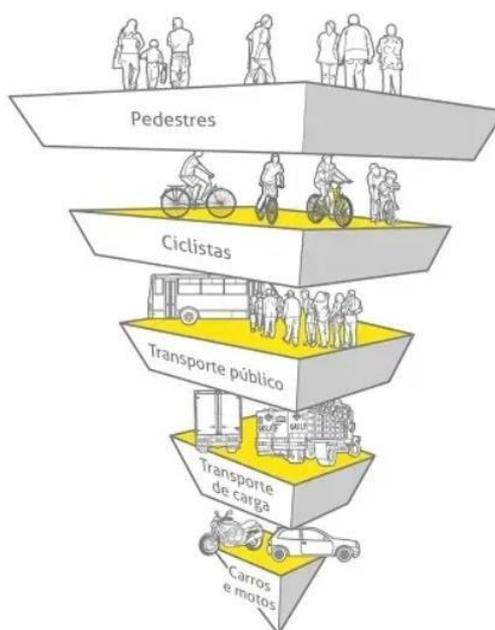


Figura 2: Pirâmide da Mobilidade Urbana.  
Fonte: Cruz *apud* ITDP – *Institute for Transportation and Development Policy* (2022).

Neste aspecto, as soluções apresentadas na mobilidade urbana sustentável incluem a implementação de sistemas de deslocamento coletivo, como metrô, bondes e ônibus. Há também a preocupação na integração desses transportes com outros mecanismos facilitadores do deslocamento: ciclovias, esteiras rolantes com alta capacidade, elevadores de grande porte para suportar maior número de pessoas, bicicletas públicas e teleféricos (CEBDS, 2004). O impacto espacial ocasionado por alguma dessas alternativas é ilustrado na Figura 3:



Figura 3: Espaço no Trânsito de Acordo com o Tipo de Transporte.  
Fonte: Cruz (2022, p. única).

No Brasil, por exemplo, os problemas na mobilidade são evidenciados, principalmente, por: má qualidade do transporte público, aumento da renda do brasileiro, redução de impostos do Governo Federal para incentivar a compra de carros, concessão de crédito ao consumidor, herança rodoviarista, falta de planejamento urbano e arquitetônico (CRUZ, 2022).

Em resumo e de acordo com o SUMMIT MOBILIDADE URBANA (2021), o direcionamento para se alcançar a mobilidade sustentável seria:

- Estimular modais alternativos ao carro particular;
- Optar por fontes energéticas renováveis;
- Ter foco na experiência do cidadão – integração de modais, transporte coletivo sob demanda, infraestrutura de mobilidade sustentável e cidade de 15 minutos;
- Considerar conflitos no planejamento urbano;
- Envolver a sociedade civil no processo de planejamento.

### **2.3 O Contexto da Indústria Automotiva e a Revolução da Mobilidade**

Os cavalos foram, durante milhares de anos, um recurso essencial para as pessoas superarem as distâncias espaciais e tornarem a mobilidade melhor. A mudança significativa iniciou em 1886, quando o engenheiro alemão e pioneiro do automóvel moderno patenteou sua construção do “*vehicle powered by gas engine*” (carro movido por motor a gás), consolidando

o dia do nascimento do automóvel moderno (WEDENIWSKI, 2015). Naquela época, tal inovação também era chamada de *“horseless carriage”* (carruagem sem cavalos), em referência ao modo de transporte que era tido como principal concorrente (WEDENIWSKI, 2015).



Figura 4: Patente nº 37435 *“Vehicle powered by gas engine”* de 29 de janeiro de 1886 é o nascimento certificado do automóvel.

Fonte: Wedeniwski (2015, p. 31).

Apesar de possuírem uma forte ferramenta para a revolução do transporte na época, o primeiro automóvel ainda era tido como muito caro, raro e imperfeito, fazendo com que cada vez mais pessoas, por incrível que pareça, dessem preferência a força tradicional dos cavalos pessoais em relação à potência impessoal dos carros (WEDENIWSKI, 2015). De acordo com o autor, em 1900, apenas 800 automóveis foram construídos em todo Reich alemão. A acessibilidade melhorou em 1913, com a construção do *“Model T”*, por Henry Ford; automóvel que se tornou barato o bastante para a produção em massa (WEDENIWSKI, 2015).

Mesmo nos dias de hoje e diante do contexto da humanidade, ainda é incrível o forte vínculo que as pessoas têm com carros ou automóveis em geral, desde crianças. *Top Trumps* ainda é tido como um jogo de cartas popular para crianças na Alemanha – pelo menos quando nenhum dispositivo eletrônico está próximo do alcance delas (WEDENIWSKI, 2015). A primeira versão de *Top Trumps* surgiu em 1952, quando era possível apenas sonhar em obter o primeiro carro, e desde esta versão, as categorias permaneceram as mesmas durante anos: performance, velocidade máxima, capacidade dos cilindros e número de cilindros – todas com as propriedades dos veículos claramente com foco mecânico (WEDENIWSKI, 2015). Ainda hoje, isso não mudou; a única diferença é que as novas versões do jogo adicionaram categorias sobre consumo de combustível e emissão de CO<sub>2</sub>, no intuito de incentivo sobre a conscientização ambiental (WEDENIWSKI, 2015).

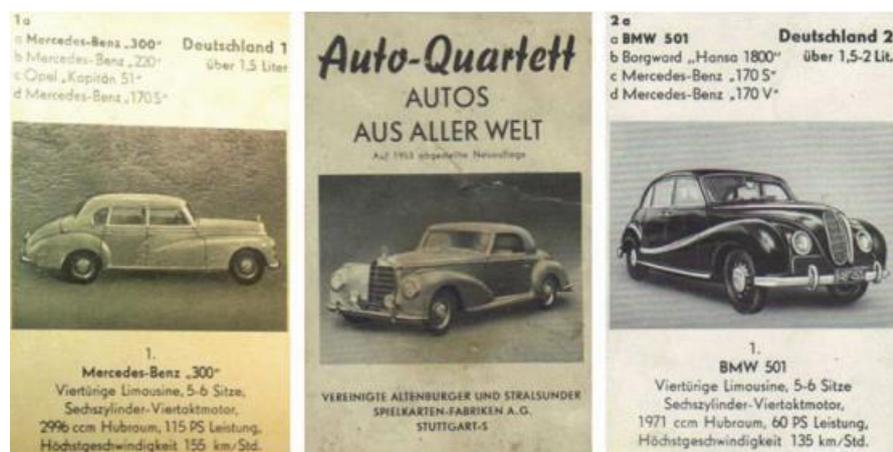


Figura 5: Exemplos de Cartas do Jogo *Top Trumps*.  
 Fonte: Wedeniwski (2015, p. 2).

Veículos, como produtos, estão a sofrer transformações e seus usuários estão a exigir outras propriedades. Porém, devido à permanente tentativa das inovações que caracterizam a era digital, os parâmetros dificilmente estão condizentes em criar uma relação a longo prazo entre cliente e produto (WEDENIWSKI, 2015).

Ao longo das últimas décadas, a indústria automotiva se deparou com inúmeras transformações tecnológicas, porém alguns dos principais sistemas dos automóveis mantiveram uma linhagem similar. A revolução e modernização destes sistemas serão durante a próxima década – alguns projetos podendo se estender por muito mais tempo – e dependerá do nível de maturidade da arquitetura das organizações empresariais e, o que muitos defendem como principal, da expectativa dos consumidores e usuários (WEDENIWSKI *apud* CURIC, 2015).

Wedeniwski *apud* Curic (2015) ainda defende que uma mudança muito marcante está sendo perceptível pela indústria automotiva: a expectativa dos consumidores. Os consumidores e usuários da atualidade estão mais informados que nunca a respeito dos panoramas do setor e, com a vinda da informação, vem capacitação e empoderamento (WEDENIWSKI *apud* CURIC, 2015). Com capacitação e informação, dificilmente os condutores aceitarão algum produto que esteja fora da perspectiva ideal, não atendendo seus parâmetros.

Um modelo *business* de análise usado como orientação para contextualizar o setor automotivo, através dos fatores e influências do meio em que o mesmo se insere, é o PESTLE (WEDENIWSKI, 2015). Basicamente, a abreviação PESTLE representa: *political, economic, socio-cultural, technological, legal* e *environmental/ecological*. A aplicação de tal modelo para

uma análise da conjuntura a qual a indústria automotiva se insere em tempos de mudança na era digital é apresentado, de acordo com Wedeniwski (2015), pela Tabela 1:

Tabela 1: Análise PESTLE das influências do setor automotivo na era digital.

Politicamente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidade e fidelidade dos sistemas políticos;</li> <li>• A função das organizações governamentais na formação da economia;</li> <li>• Mudanças e redes apoiadas politicamente a níveis globais;</li> <li>• Liberdade, privacidade e segurança na era digital.</li> </ul>
Economicamente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidade;</li> <li>• A indústria automotiva como pilar de apoio da economia, com um elevado grau de influência;</li> <li>• Mudanças do crescimento de países industriais para economias emergentes;</li> <li>• Aumento contínuo da dependência de numerosas matérias-primas;</li> <li>• Concorrência econômica para as matérias-primas no contexto global;</li> <li>• Vantagens econômicas através de dados dos veículos.</li> </ul>
Socialmente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevados níveis de emprego na cadeia de criação de valor da indústria automotiva;</li> <li>• A identidade da marca é valiosa na sociedade;</li> <li>• Procura crescente de capacitação;</li> <li>• A urbanização crescente muda as necessidades de mobilidade;</li> <li>• As áreas residenciais estão a tornar-se menos favoráveis ao automóvel devido ao planejamento sustentável;</li> <li>• Envelhecimento da população nos países industriais.</li> </ul>
Tecnologicamente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forte presença de certas tecnologias em sedes automobilísticas;</li> <li>• Tecnologias de condução alternativas;</li> <li>• Veículos como parte de redes personalizadas;</li> <li>• Fábricas em rede e cadeias de criação de valor digitalizadas;</li> <li>• Locais de trabalho do pessoal que são moldados pela tecnologia.</li> </ul>
Legalmente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harmonização das regulamentações técnicas a nível internacional;</li> <li>• Serviços normalizados de veículos conectados em vários países;</li> <li>• Disposições de alta responsabilidade;</li> <li>• Normas de emissão de gases de escape Eficiência de CO2 dos veículos novos;</li> <li>• Primeiras tentativas de regulamentação para veículos autônomos;</li> <li>• Aumento da procura de informações intangíveis, tais como dados sobre veículos.</li> </ul>

Ecologicamente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da consciência do ambiente e da saúde;</li> <li>• Conceitos de condução alternativos com novos riscos ambientais;</li> <li>• Tendo em conta a reciclagem também na engenharia automóvel;</li> <li>• Serviços de mobilidade de veículos "estacionários" para veículos em movimento.</li> </ul>
----------------	--

Fonte: Adaptado de Wedeniwski (2015).

Existem dependências mútuas entre os seis fatores mencionados na Tabela 1. Isso significa que a discussão sobre os tópicos não deve ser alocada em apenas uma categoria, isto é, depende do conjunto, dos riscos do mercado e das oportunidades de acordo com diferentes fatores (WEDENIWSKI, 2015).

Wedeniwski (2015), conclui que existe uma longa problemática dos desenvolvimentos em torno do automóvel, incluindo digitalização, veículos conectados, redução de emissões, várias alternativas sobre conceitos de condução e decréscimo do entusiasmo de pessoas jovens para aquisição de veículos. O autor ainda defende que são três os graus de possíveis mudanças enfrentadas pela indústria automotiva agora e futuramente: evolução, transformação e criação.

## 2.4 Tipos de Automóveis

Abordando uma contextualização mais abrangente e mais relacionada à mobilidade, para melhor entendimento do conteúdo, será apresentado as classificações básicas para veículos, uma vez que estes também incluem os automóveis.

O CTB – Código de Trânsito Brasileiro – desenvolveu três classificações oficiais para os tipos de veículos, sendo estas divididas em tração, espécie e categoria (CARVALHO, 2019). Quanto a tração, nesse caso a propulsão, os veículos podem ser classificados em (CARVALHO, 2019):

- Automotor;
- Elétrico;
- De propulsão humana;
- De tração animal;
- Reboque ou semirreboque.

Referente à espécie, os veículos podem ser especificados, de acordo com Carvalho (2019), em:

- Veículo de passageiros – bicicleta, ciclomotor, motoneta, motocicleta, triciclo, quadriciclo, automóvel, micro-ônibus, ônibus, bonde, reboque ou semirreboque e charrete;
- Veículo de carga – motoneta, motocicleta, triciclo, quadriciclo, caminhonete, caminhão, reboque ou semirreboque, carroça e carro-de-mão;
- Veículo misto – camioneta, utilitário;
- Veículo de competição;
- Veículo de tração – caminhão-trator, trator de rodas, trator de esteiras, trator misto, escavadeira, retroescavadeira, especial e de coleção.

Por fim, a classificação de veículos por categoria, segundo Carvalho (2019):

- Veículo Oficial;
- Veículo de representação diplomática, veículo de repartições consulares de carreira ou organismos internacionais acreditados junto ao Governo brasileiro;
- Veículo Particular;
- Veículo de aluguel;
- Veículo para aprendizagem.

A título da finalidade deste estudo, será mais detalhado alguns itens da categoria de propulsão (tração), mais especificamente os automotores e elétricos.

#### **2.4.1 Automóveis de Motores de Combustão Interna e a Autopropulsão Convencional**

Os motores de combustão interna (MCI) são os mais populares usados em veículos atualmente, trata-se do principal mecanismo para a locomoção (BRUNETTI, 2018). Esses motores recorrem ao processo da combustão para transformar a energia química do combustível em energia mecânica de movimento, conferindo a função final para os automóveis (BRUNETTI, 2018).

A combustão desempenha papel vital na evolução da sociedade. Conhecer bem esse processo e saber controlá-lo é essencial no contexto em que o mundo está inserido. Uma rápida verificação dos acontecimentos que estão ligados direta e indiretamente ao contexto atual, permitiria concluir a importância dessa combinação (TURNIS, 2013).

Ferreira (1995, p. 162) apresenta um ponto de partida útil para a definição de combustão: “ação de queimar, de comburir; ustão” ou ainda “o processo de combinação duma substância com oxigênio, em geral exotérmico”. De uma maneira ainda mais prática, pode-se definir

combustão (ou queima) como uma reação química entre substâncias para produção ou liberação de calor e luz, usando, para isso, a combinação entre combustível e comburente. A combustão normalmente é exotérmica. Tal reação gera produtos das resultantes da combinação dos átomos dos reagentes. Para processos que utilizam ar como comburente e compostos orgânicos (metano, propano, gasolina, etanol, diesel, entre outros) como combustível, os produtos formados podem ser CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, fuligem, entre outros. Tais produtos podem causar acentuados impactos ambientais (KONDRATIEV, 2009).

O processo de combustão pode ser representado pela equação a seguir:



Mesmo que o processo de combustão tenha enormes benefícios para a sociedade, o mesmo se depara com uma barreira principal: poluição ambiental. Hidrocarbonetos não queimados ou parcialmente queimados, óxidos de nitrogênio (NO e NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub>) e os particulados são os principais poluentes gerados em tal processo (TURNS, 2013). Ainda de acordo com Turns (2013, p. 5), “as consequências da poluição primária vão desde problemas de saúde específicos, até o nevoeiro químico (smog), a chuva ácida, o aquecimento global e a redução da camada de ozônio”.

A importância desse processo para a sociedade moderna em face aos problemas que o mesmo gera, requer atenção maior por parte dos engenheiros especialistas nessa área e da população como um todo. A motivação para prática para o estudo desse tópico, bem como a ascensão dos programas e planos ambientais demonstra a essencialidade para o destaque desse assunto (TURNS, 2013).

A mistura de combustível e ar com uma centelha de faísca provoca explosão que fornece energia suficiente para mover os pistões dos automóveis. O movimento linear dos pistões é transferido por meio de um mecanismo de manivela para o movimento rotacional e uma transmissão é responsável pela transferência desta rotação para as rodas (BRUNETTI, 2018).

Brunetti (2018, p. 21) define máquinas térmicas como “dispositivos que permitem transformar calor em trabalho. O calor pode ser obtido de diferentes fontes: combustão, energia elétrica, energia atômica, etc”. Este tópico destina-se para a situação em que o calor é obtido através da combustão, isto é, em que a energia química do combustível é transformada em trabalho mecânico.

“A obtenção de trabalho é ocasionada por uma sequência de processos realizados numa substância que será denominada fluido ativo – FA” (BRUNETTI, 2018, p. 22). Em se tratando

de motores a combustão, o fluido ativo é formado pela mistura ar e combustível na entrada do volume de controle e produtos gerados pela combustão na saída (BRUNETTI, 2018). O comportamento do fluido ativo nessas máquinas, define uma classificação para os motores de combustão, que podem ser divididos em motores de combustão externa (MCE) e motores de combustão interna (MCI) (BRUNETTI, 2018). Os motores de combustão externa são aqueles em que a combustão se processa externamente ao fluido ativo, que é simplesmente um veículo da energia térmica que será transformada em trabalho. Já nos motores de combustão interna (MCI), o fluido ativo participa diretamente da combustão (BRUNETTI, 2018).

A Figura 6 simplifica os componentes envolvidos nos motores de combustão interna (MCI):

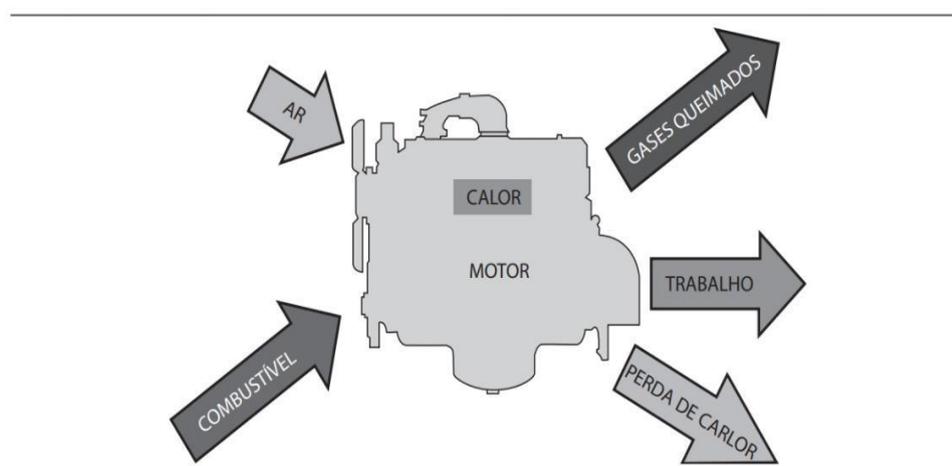


Figura 6: Fluxos de massa e energia em um motor de combustão interna (MCI).  
Fonte: Brunetti (2018, p. 21).

#### 2.4.1.1 Classificação dos Automóveis de Motores de Combustão Interna

Os motores de combustão interna (MCI) são classificados quanto à forma de se obter trabalho mecânico em motores alternativos, motores rotativos e motores de impulso (BRUNETTI, 2018). Nos motores alternativos o trabalho é obtido pelo movimento de vaivém de um pistão, transformado em rotação contínua por um sistema biela-manivela (BRUNETTI, 2018, p. 22). Motores rotativos são aqueles que geram trabalho diretamente do movimento de rotação, como exemplo do motor Wankel e de turbinas a gás. Já os motores de impulso obtêm trabalho através da força de reação dos gases expelidos em altas velocidades pelo motor; foguetes e motores a jato são exemplos para esses tipos de motores (BRUNETTI, 2018). Diante da categorização apresentada anteriormente, a classificação mais comum encontrada para os

motores de combustão interna é o alternativo (BRUNETTI, 2018). Para a fundamentação teórica deste estudo, será, então, apresentado mais detalhes sobre os motores de combustão interna alternativos.

Além da classificação quanto à forma de se obter energia, os motores de combustão interna, também recebem outras classificações, de acordo com Brunetti (2018):

- Quanto à propriedade do gás de admissão
  - Ar – para Motor Ciclo Diesel (a ser detalhado posteriormente);
  - Mistura ar e combustível – para Motor Ciclo Otto (a ser detalhado posteriormente).
- Quanto à ignição
  - Por centelha – Motor Ciclo Otto, ignição por faísca (*spark ignition*);
  - Por compressão – Motor Ciclo Diesel, ignição espontânea (*compression ignition*).
- Quanto ao número de tempos de ciclo de operação

Tabela 2: Motores 2T e 4T.

Diferenças	4T	2T
Tempos x Ciclo Útil	2 voltas na manivela	1 volta na manivela
Fator de tempos	$x = 2$	$x = 1$
Sistema mecânico	Mais complexo	Mais simples Ausência de válvulas e eixo de comando
Alimentação	Boa	Ruim Perda de mistura no escape e presença de lubrificante
Lubrificação	Boa	Ruim Presença de combustível

Fonte: Adaptado de Brunetti (2018).

- Quanto ao número de cilindros
  - Monocilíndricos;
  - Poli cilíndricos.
- Quanto à disposição dos cilindros
  - Em linha;
  - Em  $\wedge$ ;
  - Opostos (*boxer*);
  - Em estrela (radial).
- Quanto à utilização

- Estacionários – destinados ao acionamento de máquinas estacionárias, tais como geradores, máquinas de solda, bombas, entre outras;
- Industriais – destinados ao acionamento de máquinas de construção civil, tais como tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, máquinas de mineração, veículos de operação, fora-de-estrada, acionamento de sistemas hidrostáticos e outras aplicações onde se exijam características especiais específicas do acionador;
- Veiculares – destinados ao acionamento de veículos de transporte em geral, tais como caminhões, ônibus e carros;
- Marítimos – destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval.

#### 2.4.1.2 Principais Componentes dos Motores de Combustão Interna

A Figura 7 exibe os principais componentes de um motor alternativo de combustão interna:

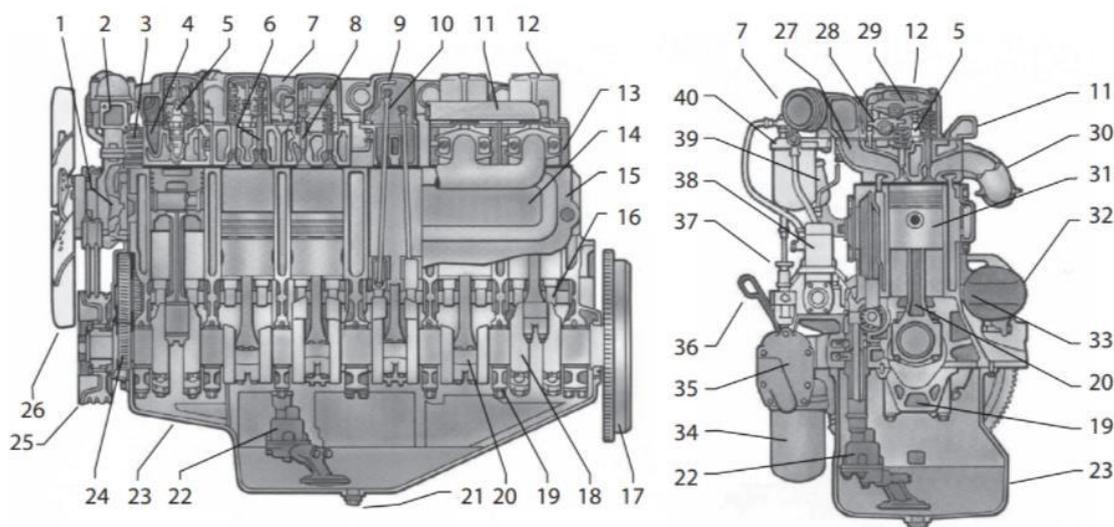


Figura 7: Vista dos componentes de um motor de combustão interna – MCI.  
Fonte: Brunetti (2018, p. 23).

Os componentes apresentados anteriormente pertencem a um Motor Ciclo Diesel e são detalhados pela Tabela 3:

Tabela 3: Componentes de um Motor Ciclo Diesel.

1. Bomba d'água	15. Bloco	29. Balancim da válvula de escapamento
2. Válvula termostática	16. Eixo comando de válvulas	30. Coletor de escapamento
3. Compressor de ar	17. Volante	31. Pistão

4. Duto de admissão	18. Virabrequim	32. Motor de partida
5. Injetor de combustível	19. Capa de mancal	33. Dreno de água
6. Válvula de escapamento	20. Biela	34. Filtro de óleo
7. Coletor de admissão	21. Bujão do cárter	35. Radiador de óleo
8. Válvula de admissão	22. Bomba de óleo	36. Vareta de nível de óleo
9. Linha de combustível	23. Cárter	37. Bomba manual de combustível
10. Haste de válvula	24. Engrenagem do virabrequim	38. Bomba injetora de combustível
11. Duto de água	25. Amortecedor vibracional	39. Respiro do cárter
12. Tampa de válvula	26. Ventilador	40. Filtro de combustível
13. Cabeçote	27. Duto de admissão	
14. Tampa lateral	28. Balancim da válvula de admissão	

Fonte: Adaptado de Brunetti (2018).

#### **2.4.1.3 Fonte de Propulsão Para Automóveis de Motores de Combustão Interna**

Atualmente, os principais derivados de petróleo utilizados como combustíveis em motores de combustão interna são as gasolinas, os óleos diesel, o querosene de aviação e vários óleos combustíveis marítimos para motores pesados de baixa rotação (BRUNETTI, 2018).

O petróleo é um líquido oleoso, inflamável, de cor que varia do castanho ao negro, menos denso que a água (geralmente), extraído do subsolo ou, em alguns casos da superfície – em lagos de asfalto, por exemplo (BRUNETTI, 2018). ‘Possuem diferentes propriedades físicas (massa específica, viscosidade, etc.) e composições químicas, dependendo do local de onde são retirados’ (BRUNETTI, 2018, p. 308). Quimicamente, o petróleo é uma mistura complexa de hidrocarbonetos – compostos formados apenas por carbono e hidrogênio –, podendo apresentar em sua estrutura orgânica pequenas quantidades de enxofre, nitrogênio e oxigênio (BRUNETTI, 2018).

Apesar de a grande maioria dos motores de combustão interna (MCI) no mundo utilizarem derivados de petróleo como combustível, existe uma grande adesão e incentivo à utilização de biocombustíveis, tais como o álcool etílico hidratado e o biodiesel, por exemplo (BRUNETTI, 2018). São vários os processos de obtenção desses combustíveis, em função da propriedade que se deseja para a fonte de propulsão.

#### **2.4.1.4 Vantagens e Desvantagens dos Automóveis de Motores de Combustão Interna**

Em se tratando de máquinas térmicas, o seguinte cenário pode ser relacionado para os motores de combustão interna – máquinas de locomoção dos automóveis a combustão:

Tabela 4: Vantagens e Desvantagens dos Motores de Combustão Interna.

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Arranque relativamente rápido	Baixa eficiência
Elevada autonomia	Elevado número de componentes, elementos de máquinas e peças
Facilidade no abastecimento	Limitação de potência
Tamanho relativamente pequeno	Relação peso/potência elevada
Trabalho em rotações relativamente baixas	Emissão direta de poluentes

Fonte: Pesquisa Direta (2022).

#### **2.4.1.5 Ciclos de Potência**

O Ciclo Otto e o Ciclo Diesel são os ciclos de potência comumente usados em motores de combustão interna – MCI. Os ciclos de potência são ciclos de energia que usam gás ideal, frequentemente ar, como fluido de trabalho (KROOS e POTTER, 2015).

O Ciclo Otto é um ciclo termodinâmico que descreve o comportamento idealizado do funcionamento de um típico motor de pistão de ignição com faísca (KROOS e POTTER, 2015). Tal ciclo é o mais comum encontrado em motores de veículos e segue o princípio baseado nos quatro tempos: admissão, compressão, combustão e exaustão. A descrição exemplifica o que acontece com a massa de um gás submetidas a trocas de calor e variações de pressão, temperatura e volume (KROOS e POTTER, 2015).

O motor ciclo Otto foi desenvolvido pelo engenheiro alemão Nikolaus Otto em 1876. Kroos e Potter (2015, p. 297) caracterizam e contextualizam o Ciclo Otto através de uma perspectiva inicial interessante:

Desde que está em uso, há mais de 130 anos, recebe aprimoramentos significativos. É utilizado desde que os motores tornaram-se confiáveis. O motor dá a partida e funciona bem em todas as condições ambientais, sob ampla gama de temperaturas. Ele fornece uma quantidade considerável de energia, além de ser compacto.

Kroos e Potter (2015) detalham o ciclo de quatro etapas definido por Otto, basicamente em uma versão abreviada de admissão, compressão, combustão (ou expansão) e exaustão (ou escape), conforme descrito a seguir:

- Admissão – nesta etapa ocorre a entrada da mistura de ar com combustível. A saída da câmara de combustão permanece fechada. O pistão se move de forma a aumentar o volume admitido na câmara. Aqui ocorre uma transformação isobárica, isto é, transformação sob pressão constante;
- Compressão – a entrada e a saída da câmara de combustão se encontram fechadas. O pistão realiza um movimento rápido do PMI para PMS, comprimindo a mistura de ar com combustível. Esse processo isentrópico gera um aumento de temperatura e pressão e, conseqüentemente, uma diminuição do volume da mistura;
- Combustão – a entrada e a saída da câmara de combustão continuam fechadas. O pistão está localizado no PMS com ar comprimido ao volume mínimo. A vela de ignição inflama e a mistura de ar com combustível queima, fornecendo calor em volume constante (isovolumétrico). Pressão e temperatura aumentam mais;
- Exaustão – a saída da câmara de combustão é liberada. O pistão se encontra no PMI. Os gases são expulsos do cilindro e todo o sistema é arrefecido. Após esse processo o pistão volta a subir, fazendo com que o motor retorne à sua posição e condição inicial, permitindo que o ciclo se reinicie.

A Figura 8 apresenta o diagrama P-v e o diagrama T-s do ciclo Otto ideal, destacando as características principais de cada estágio do processo:

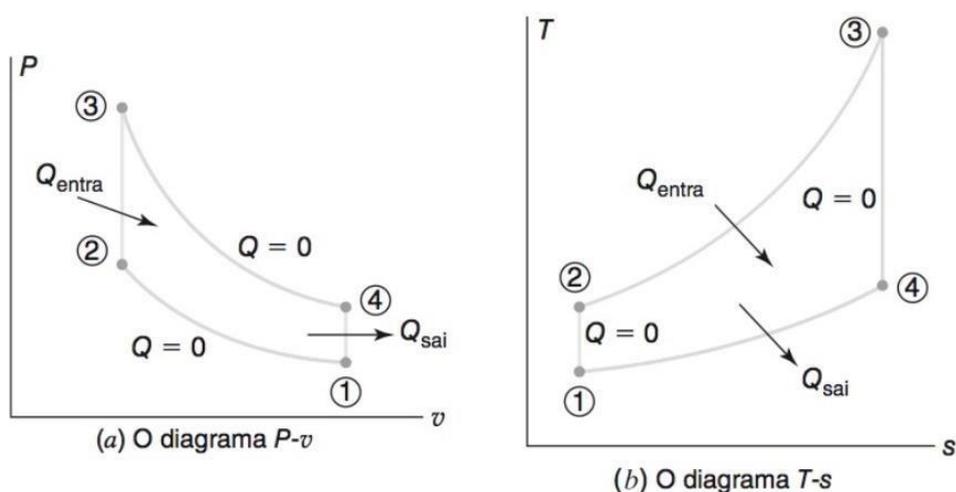


Figura 8: Ciclo Otto Ideal.  
Fonte: Kroos e Potter (2015, p. 298).

O processo 1, refere-se ao tempo de compressão. O processo 2, à combustão em volume constante. O processo 3, ao tempo de potência em entropia constante.

A Figura 9 exibe um diagrama de pressão-volume, comparando o Ciclo Otto ideal e real:

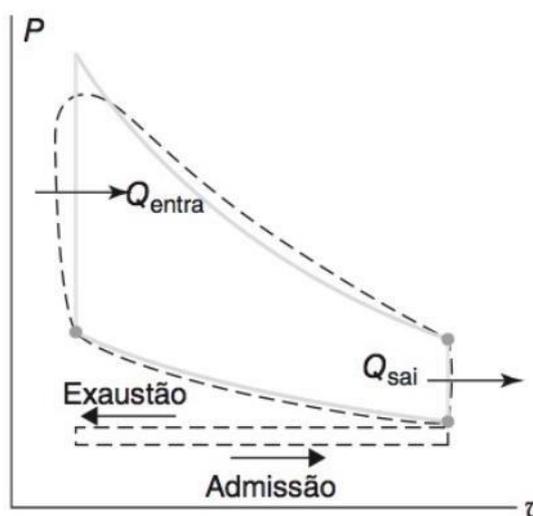


Figura 9: Ciclo Otto Real.  
Fonte: Kroos e Potter (2015, p. 298).

As linhas pontilhadas formam um desenho de um diagrama P-v real, enquanto as linhas contínuas referem-se ao ciclo Otto ideal (KROOS e POTTER, 2015). É possível notar que o processo de combustão não acontece, de fato, em volume constante (KROOS e POTTER, 2015). O ciclo ideal fornece uma boa aproximação do ciclo real e é mais comumente usado para fins didáticos.

O Ciclo Diesel, por sua vez, é, dentre os ciclos termodinâmicos, um dos mais encontrados em motores. Os motores que recorrem ao Ciclo Diesel inicialmente substituíram as máquinas a vapor e, agora, são também utilizados em submarinos, navios locomotivas, caminhões, equipamentos pesados e veículos em geral (KROOS e POTTER, 2015). Ainda de acordo com Kroos e Potter (2015), cerca de 50% dos carros vendidos na Europa são movidos a diesel, devido ao menor consumo e custo do combustível.

Tal processo foi desenvolvido pelo engenheiro alemão Rudolph Diesel nos anos 1890 (KROOS e POTTER, 2015). Inicialmente, buscava-se performar um motor de combustão interna que abordasse a eficiência do motor Carnot (KROOS e POTTER, 2015).

O Ciclo Diesel também descreve o funcionamento de um motor com arranjo pistão-cilindro alternativo, assim como o Ciclo Otto. Conforme Kroos e Potter (2015) destacam, os dois ciclos são muito semelhantes, com exceção de alguns detalhes importantes a serem destacados:

- O Motor Diesel utiliza ignição por compressão ao invés de ignição por faísca. Na ignição por compressão o combustível é injetado no volume de alta temperatura, não necessitando de nenhuma vela para ignição. Devido à alta temperatura desenvolvida durante a compressão adiabática, o combustível, em contato com o ar, inflama espontaneamente à medida que é injetado;
- A taxa de compressão do Ciclo Diesel é muito maior que do Ciclo Otto. Assim, tanto a pressão quanto a temperatura do ar em PMS são muito mais altas;
- A eficiência do Ciclo Diesel também é muito maior que do Ciclo Otto;
- “O processo de combustão acontece com a pressão constante no ciclo diesel, em vez de ser no volume constante” Kroos e Potter (2015, p. 305);
- Os quatro tempos do Ciclo Diesel possuem processos que também se diferenciam (KROOS e POTTER, 2015).

A Figura 10 exibe os diagramas dos processos do Ciclo Diesel ideal:

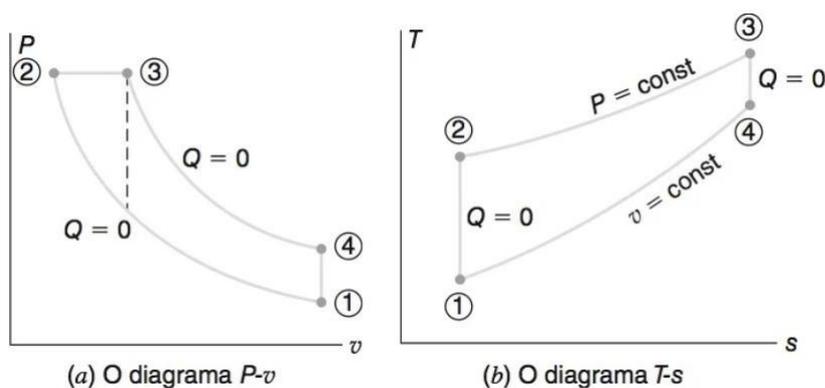


Figura 10: Ciclo Diesel Ideal.  
Fonte: Kroos e Potter (2015, p. 305).

Em um Ciclo Diesel ideal, o sistema que executa o ciclo passa por uma série de quatro processos, sendo dois isentrópicos, um isocórico e um isobárico. Abaixo, os quatro tempos do motor exibidos na Figura 10, conforme apresentado por Kroos e Potter (2015):

- Processo 1-2: refere-se ao tempo de compressão e é um processo isentrópico. A entrada da admissão se fecha no estado 1 e o ar é comprimido a temperatura e pressão muito elevadas, isto é, bem maiores em comparação ao Ciclo Otto (a linha pontilhada na Figura 10 (a), indica este processo em Ciclo Otto);
- Processo 2-3: indica o processo de pressão constante, onde o combustível é injetado continuamente no cilindro e inflama espontaneamente devido à elevada temperatura do ar;
- Processo 3-4: é também um processo isentrópico referente ao tempo de potência;
- Processo 4-1: processo em volume constante. Indica o tempo de exaustão e de admissão.

Do ponto de vista mecânico, não existem diferenças absurdas entre os tipos de Motores Ciclo Otto e Ciclo Diesel, a não ser a maior robustez do Motor Diesel – decorrente da taxa de compressão necessária (BRUNETTI, 2018). Em resumo, as principais diferenças entre os ciclos de potência de motores de combustão interna (Ciclo Otto e Ciclo Diesel) são apresentadas (BRUNETTI, 2018):

- Introdução do combustível – no Motor Ciclo Otto é aspirado para dentro do cilindro a mistura de ar e combustível, que é comprimida adiabaticamente e explodida a partir de uma centelha produzida pela vela de ignição. Já o Motor Ciclo Diesel aspira apenas ar, que é comprimido a elevadas taxas de pressão e temperatura (taxa de compressão muito superior que o Motor Otto); a injeção do combustível pela bomba injetora para dentro deste gás altamente aquecido é seguida de autoignição e expansão dos gases;
- Eficiência – um Motor Ciclo Otto típico alimentado por gasolina, por exemplo, opera com cerca de 22% a 30% de eficiência térmica. Já um Motor Ciclo Diesel típico opera com cerca de 30% a 38% de eficiência térmica. Obviamente tais valores podem ser otimizados, de acordo com a tecnologia empregada;
- Ignição – no Motor Ciclo Otto a ignição é provocada por uma faísca. No Motor Ciclo Diesel, a combustão ocorre por autoignição, a partir do contato do combustível com o ar quente;
- Taxa de Compressão – a taxa de compressão é definida como a razão entre o máximo volume admitido pelo volume mínimo no início da admissão. Para o Motor Ciclo Otto é relativamente baixa para não provocar autoignição – já que o instante apropriado para a combustão será comandado pela faísca; as máquinas

Otto operam com taxa de compressão compreendida entre 6:1 e 12:1, variando, principalmente, de acordo com o combustível utilizado. O Motor Ciclo Diesel, por sua vez, requer uma taxa de compressão suficientemente elevada, de modo a garantir a autoignição do combustível; as máquinas Diesel operam com taxa de compressão compreendida entre 16:1 e 20:1.

#### **2.4.1.6 Tecnologias em Motores de Combustão Interna**

A atual condição climática e energética do mundo requer a necessidade de desenvolvimento de motores de combustão interna cada vez mais eficientes e sustentáveis (MALAQUIAS *et al.*, 2017). Motores esses de alta eficiência energética, capazes de minimizar os impactos ambientais, a partir do baixo consumo de combustível e da mínima emissão de gases poluentes, sem deixar de apresentar um bom desempenho (MALAQUIAS *et al.*, 2017). “Com o intuito de atingir metas de redução da emissão de poluentes e do consumo de combustível, novas tecnologias vêm sendo empregadas no conceito dos novos motores” (MALAQUIAS *et al.*, 2017, p. 1).

A seguir serão apresentados algumas alternativas e tecnologias capazes que entregar melhorias de eficiência e redução de emissão de poluentes para os automóveis de motores de combustão interna.

##### **a) Eficiência de 50% em Motor de Combustão Interna**

De acordo com Costa (2017), o motor mais eficiente do mundo pertence à Mercedes-AMG, equipe que vem sendo a pioneira na competição automobilística de maior evidência no mundo, a Fórmula 1. Desde 2014 a equipe surpreende nos avanços tecnológicos que apresenta. O destaque é para o motor V6 de 1.6 litros turbo que atinge uma eficiência energética superior a 50% (COSTA, 2017).



Figura 11: Motor V6 1.6 Litros Turbo – Mercedes-AMG.  
Fonte: Costa (2017).

Tal eficiência foi possível graças ao refinamento do motor em laboratório, num banco de ensaio (COSTA, 2017). A eficiência energética para essas máquinas é determinada pela quantidade de energia útil que o motor consegue extrair do combustível. Normalmente, os motores de combustão interna aproveitam em torno de 20% da energia da gasolina; alguns motores Diesel podem chegar aos 40% (COSTA, 2017).

Alguns especialistas abordam certa dificuldade em superar essa eficiência, uma vez que parte da energia é impossível de aproveitar, como, por exemplo, a energia dissipada em forma de calor (COSTA, 2017).

#### **b) Combustível 100% Sustentável**

A Fórmula 1 já prevê a geração de uma nova unidade de potência até 2025. A competição já se comprometeu com o desenvolvimento de um combustível 100% sustentável, concebido para ajudar no objetivo de atingir o objetivo de Carbono Zero até 2030 (F1, 2021).

Em concordância com a F1 (2021), 2022 já trará inovações com o uso do combustível E10 – uma mistura de 90% de combustível fóssil e 10% de etanol. Mas o objetivo é além disso: desenvolver um combustível 100% sustentável (F1, 2021). A competição já participa ativamente de discussões com empresas de combustível (F1, 2021).

Tal combustível poderá ser utilizado em motores de combustão interna normais, isto é, sem qualquer alteração ou modificação nos motores convencionais, utilizando componentes que provêm da captura de carbono, resíduos ou biomassa, ao mesmo tempo que consegue poupar, pelo menos, 65% de emissão de gases do efeito estufa em relação à gasolina fóssil (F1, 2021).

Estima-se que haverá 1,8 mil milhões de automóveis na estrada até 2030, com apenas 8% dos veículos eléctricos a bateria (BEV) puros - enquanto os motores de combustão interna continuarão a ser essenciais para as viagens aéreas e marítimas, bem como para a indústria de transportes (F1, 2021). Ao encabeçar o desenvolvimento de combustíveis avançados 100% sustentáveis, a Fórmula 1 pode desempenhar o seu papel na produção de um enorme impacto nas emissões globais de gases com efeito de estufa dos sectores dos transportes (F1, 2021).

### c) *Downsizing*

A tecnologia *downsizing* vem sendo empregada no conceito dos novos motores de combustão interna e ganha grande notabilidade. Malaquias *et al.* (2017, p. 1) destaca:

A técnica recente de *downsizing*, altamente beneficiada pelo uso de etanol, consiste na produção de motores pequenos e altamente eficientes. Para tanto, maximizam-se os efeitos da turbo-alimentação, que consiste no reaproveitamento da entalpia contida no fluido de escape (que seria desperdiçado, lançado à atmosfera) para fazer girar um eixo da turbina que, por sua vez, comprimirá o ar atmosférico, através de um rotor, elevando a densidade do ar admitido. Assim, é possível aumentar o desempenho de um motor. A maior octanagem do álcool etílico, quando comparado à gasolina, permite o aumento da razão volumétrica de compressão, que resulta no aumento da eficiência térmica do motor. Por fim, o maior calor latente de vaporização e a capacidade de resfriamento de carga acarretam em maior eficiência volumétrica e maior resistência ao fenómeno da detonação.

Em seu estudo, Malaquias *et al.* (2017) compara o motor 1.0 *downsized* turboalimentado com um motor 1.8 aspirado e, em algumas configurações específicas, o motor 1.0 que utilizou tal tecnologia, apresentou melhor consumo específico e maior eficiência global quando comparado ao 1.8 aspirado. Alguns desses resultados são apresentados na Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7 a seguir:

Tabela 5: Comparação dos motores a 1500 RPM, gerando 32 N.m de torque.

<b>Motor 1.8 aspirado</b>	
Eficiência de conversão de combustível (%)	25,52
Consumo específico	571,1 g/kWh
<b>Motor 1.0 downsized turboalimentado</b>	
Eficiência de conversão de combustível (%)	31,56

Consumo específico	339,7 g/kWh
--------------------	-------------

Fonte: Adaptado de Malaquias *et al.* (2017).

Tabela 6: Comparação dos motores a 2000 RPM, gerando 45 N.m de torque.

<b>Motor 1.8 aspirado</b>	
Eficiência de conversão de combustível (%)	29,79
Consumo específico	489,2 g/kWh
<b>Motor 1.0 downsized turboalimentado</b>	
Eficiência de conversão de combustível (%)	36,63
Consumo específico	397,9 g/kWh

Fonte: Adaptado de Malaquias *et al.* (2017).

Tabela 7: Comparação dos motores a 2500 RPM, gerando 30 N.m de torque.

<b>Motor 1.8 aspirado</b>	
Eficiência de conversão de combustível (%)	26,12
Consumo específico	557,8 g/kWh
<b>Motor 1.0 downsized turboalimentado</b>	
Eficiência de conversão de combustível (%)	33,90
Consumo específico	429,90 g/kWh

Fonte: Adaptado de Malaquias *et al.* (2017).

Nas condições acima, percebe-se que o motor 1.0, mesmo apresentando um volume 46% inferior, entregou um desempenho melhor que o 1.8, consumindo menos combustível (MALAQUIAS *et al.*, 2017). Cenário esse que sugere novas direções para o desenvolvimento de motores de combustão interna.

#### d) Os Biocombustíveis

Luz Jr. *et al.* *apud* CASCONI (2009, p. 53) apresenta a seguinte definição para o biocombustível:

é o combustível elaborado a partir da transformação de diferentes materiais orgânicos disponíveis de uma maneira renovável, por exemplo: produtos agrícolas, produtos florestais, resíduos agrícolas e florestais, resíduos industriais, algas e resíduos animais, entre outros.

Os biocombustíveis são fontes de energia renováveis oriundas de produtos vegetais e animais, tendo como matérias-primas principais para a produção a cana-de-açúcar, beterraba, sorgo, dendê, semente de girassol, mamona, milho, mandioca, soja, aguapé, copaíba, lenha, resíduos florestais, excrementos de animais, resíduos agrícolas, entre outras (BIANCHI, 2014). Cerca de 87% de todo combustível consumido no mundo é de origem fóssil – carvão mineral, petróleo e gás natural – no entanto, essas substâncias, além de poluentes, são finitas (BIANCHI *apud* AIE – Agência Internacional de Energia, 2014). Sendo assim, é de fundamental importância o desenvolvimento de novos combustíveis renováveis, com destaque para os

biocombustíveis que se apresentam como uma alternativa muito eficaz, uma vez que são mais baratos e eficientes no combate do efeito estufa (BIANCHI, 2014).

Bianchi (2014) detalha os principais biocombustíveis:

- Etanol – também chamado de álcool etílico, é uma substância orgânica obtida da fermentação de açúcares, hidratação do etileno ou redução a acetaldeído. É largamente utilizado em motores de explosão, constituindo um mercado em ascensão para um combustível obtido de maneira renovável e o estabelecimento de uma indústria de química de base, sustentada na utilização de biomassa de origem agrícola e renovável. Embora orgânico, o etanol não é encontrado puro na natureza e precisa ser fabricado. Existem processos complexos para a obtenção da substância, porém, o mais difundido é a fermentação de açúcares de plantas ricas em açúcar ou amido;
- Biogás – nome comum designado a qualquer gás que foi produzido pela quebra biológica da matéria orgânica na ausência de oxigênio. Normalmente consiste em uma mistura gasosa composta, principalmente, de gás metano e gás carbônico, com pequenas quantidades de gás sulfídrico e umidade. Pode ser classificado como biocombustível, uma vez que se trata de uma fonte renovável de energia, que pode auxiliar o ser humano a se emancipar da dependência dos combustíveis fósseis;
- Biodiesel – é um combustível renovável e biodegradável, produzido a partir de fontes vegetais, tais como soja, mamona, dendê, girassol e álcoois, através dos processos de craqueamento e esterificação. O biodiesel é produzido para ser utilizado em motores diesel padrão, substituindo, total ou parcialmente, o óleo diesel do petróleo em motores ciclo diesel de automóveis, por exemplo. É um recurso promissor para o futuro, podendo substituir os combustíveis fósseis nos automóveis e permitindo, assim, um grande avanço em busca da diminuição da poluição do ar.

#### **2.4.2 Automóveis Elétricos**

Santos (2020) apresenta um panorama diante de uma perspectiva interessante sobre a ascensão dos veículos elétricos:

Os veículos com motor de combustão interna e os sistemas de propulsão convencionais dominaram a indústria de sistemas de transporte de cargas e pessoas por diversas décadas, por causa de sua autonomia, sua versatilidade e sua

funcionalidade. As crescentes preocupações com relação a questões ambientais, como as emissões de gases e a utilização de combustíveis fósseis de veículos, iniciaram um esforço global para o desenvolvimento de soluções de transporte da próxima geração, com mais eficiência e com redução dos níveis de emissões de gases de efeito estufa (GEF) e poluição do ar, havendo, conseqüentemente, o agravamento de doenças respiratórias. Além disso, visa-se à busca por utilização de fontes de energia que não sejam baseadas em combustíveis fósseis e menos poluentes. Assim, para essas questões, os veículos com propulsão eletrificada podem ser uma alternativa capaz de trazer benefícios aos sistemas de transportes de cargas e pessoas, de forma a reduzir o nível de emissões de gases tóxicos e poluentes lançados no meio ambiente.

Os veículos elétricos, comumente referidos pela sigla VEs, são automóveis que não emitem, diretamente, quantidade de poluentes ou gases tóxicos (SANTOS, 2020). É tido como um veículo terrestre que conta com, pelo menos, uma máquina elétrica no sistema de propulsão. Mesmo que apresentem melhorias consideráveis no desempenho, eficiência e, principalmente, nas questões ambientais, esses veículos ainda se deparam com barreiras por terem autonomia limitada, restrições em tecnologias de armazenamento e restrições em formas de recarga (SANTOS, 2020). É interessante ainda destacar que os mesmos problemas enfrentados atualmente, foram uma realidade no início do século passado, no advento do sistema de produção em larga escala introduzido por Henry Ford, em que o empresário deu preferência aos veículos convencionais com motores de combustão interna, devido às limitações da tecnologia elétrica, situação também evidenciada por Santos (2020).

É curioso que, apesar de muitos pensarem que os veículos elétricos são idealizações recentes, esses possuem um histórico muito mais antigo que parece (SANTOS, 2020). A Figura 12 apresenta um breve histórico quanto ao surgimento e evolução dos veículos elétricos:

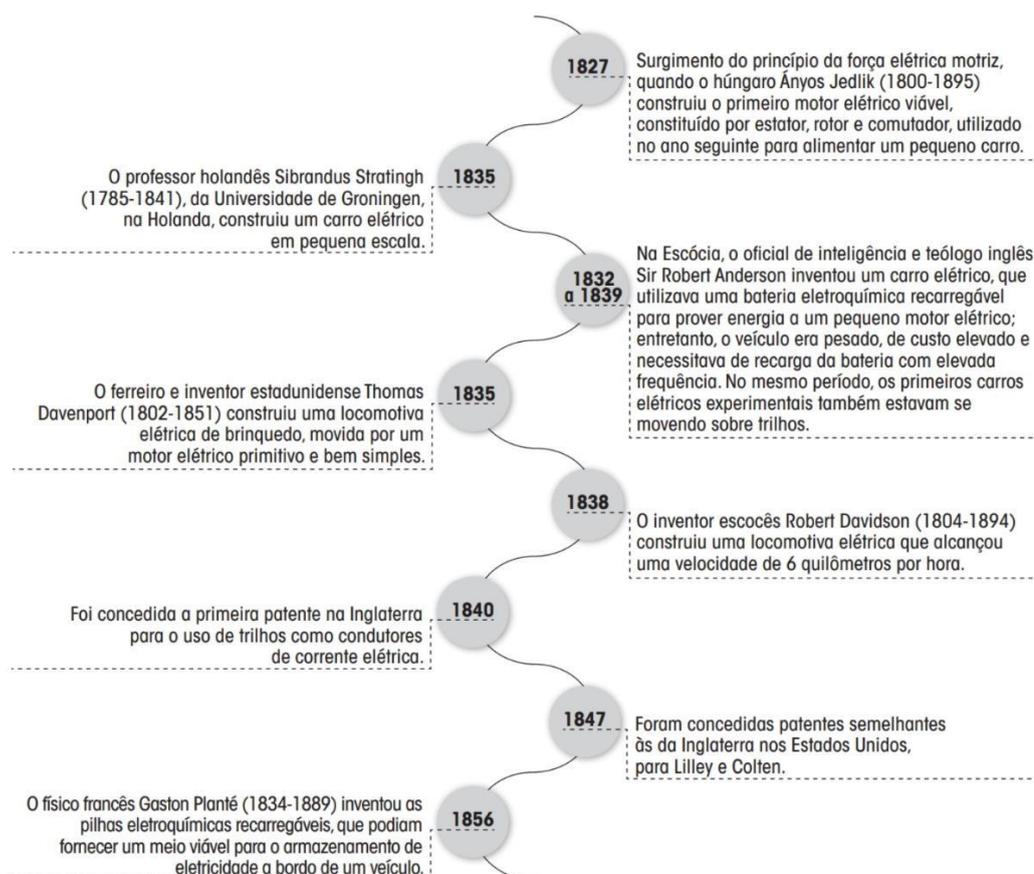


Figura 12: Evolução Histórica dos Veículos Elétricos.  
Fonte: Santos (2020, p. 17).

Um automóvel denominado elétrico é aquele conta com, pelo menos, uma máquina elétrica no sistema de propulsão. De acordo com a disposição, essa máquina elétrica pode atuar como motor elétrico (ME-M) ou gerador elétrico (ME-G) e, para isso, requer um sistema de armazenamento de energia elétrica (AE) e processamento de energia (PE) (SANTOS, 2020). Santos (2020, p. 22) descreve o sistema de armazenamento e processamento de energia:

O sistema AE tem capacidade de armazenar e disponibilizar energia por meio de processos químicos ou físicos, e o sistema de PE tem capacidade de transmitir energia entre os componentes, como no processo de tração, em que a energia deve ser transmitida entre a bateria e o motor elétrico de tração ou ME-M

As máquinas elétricas (ME) – responsáveis pelo sistema de propulsão dos automóveis elétricos – “são máquinas eletromecânicas cujo funcionamento se baseia no fenômeno da indução magnética” (SANTOS, 2020, p. 22). A indução magnética ou eletromagnética é o fenômeno que origina a produção de uma força eletromotriz (f.e.m. ou tensão) num meio ou corpo exposto a um campo magnético variável – processo que transforma a energia elétrica acumulada em um sistema, em energia mecânica de movimento, isto é, a propulsão dos

automóveis elétricos. Os armazenadores de energia – baterias e supercapacitores – acumulam a energia elétrica produzida para que esta possa ser utilizada na propulsão de automóveis (SANTOS, 2020).

Santos (2020, p. 22) detalha a transferência de energia nessas máquinas:

A transmissão de energia entre as máquinas elétricas e os armazenadores de energia em um veículo eletrificado é chamada de processamento de energia, sendo realizada por diferentes estratégias de controle e gerenciamento dos sistemas de eletrônica de potência (EP), de acordo com a aplicação.

Sendo assim, a eletrônica de potência trata da aplicação de dispositivos controlados por semicondutores de potência (SANTOS, 2020).

#### 2.4.2.1 Classificação dos Automóveis Elétricos

Santos (2020) classifica os automóveis elétricos em:

- VEB – veículo elétrico a bateria ou *battery electric vehicle* (BEV – em inglês). Possui armazenadores de energia com máquina elétrica, “que funciona como motor ou gerador e pode propelir o veículo por meio da tração para movimento ou recuperar energia no processo de frenagem” (SANTOS, 2020, p. 19). O VEB também é conhecido como VPE (veículo puramente elétrico) ou VTE (veículo totalmente elétrico);
- VEH – veículo elétrico híbrido ou *hybrid electric vehicle* (HEV – em inglês). Possui uma combinação de motor de combustão interna e armazenadores de energia com máquina elétrica, “que funciona como motor ou gerador e pode propelir o veículo por meio da tração para movimento ou recuperação de energia no processo de frenagem” (SANTOS, 2020, p. 20). Os VEHs ainda se dividem em VEH-S (Veículo Elétrico Híbrido Série), VEH-P (Veículo Elétrico Híbrido Paralelo), VEH-M (Veículo Elétrico Híbrido Misto) e VEH-PI (Veículo Elétrico Híbrido Plug-In). O VEH-PI é uma referência clássica dentre os VEH, fazendo uso do sistema de armazenamento de energia (baterias) por meio da rede elétrica. As outras três classificações apresentadas anteriormente abordam os veículos dessa classe que não fazem uso da rede elétrica para carregamento das baterias;
- VECC – veículo elétrico a célula de combustível ou *fuel cell electric vehicle* (FCEV – em inglês). São os veículos com célula de hidrogênio, que consistem em uma outra versão para os automóveis elétricos. A diferença está

principalmente na forma como é abastecido e, por esse motivo, esse tipo de automóvel será detalhado no item 2.4.3.

A Figura 13 exibe uma configuração dos veículos elétricos de acordo com as fontes de energia para propulsão do sistema:

	Convencional	Híbrido-elétrico	Híbrido-elétrico plug-in	Bateria elétrica
				
	CV	VEH	VEH-PI	VEB
Conversor de potência	Mecânico	Mecânico e motor	Mecânico e motor	Motor
Bateria	–	Pequena	Média	Grande
Gasolina		✓	✓	✓
Eletricidade			✓	✓

Figura 13: Classificação Geral dos Veículos Eletrificados Quanto à Fonte de Energia para Propulsão.

Fonte: Santos (2020, p. 21).

O automóvel convencional utiliza o combustível derivado do petróleo – diesel ou gasolina – ou biocombustível – biodiesel ou etanol – como fonte de energia para alimentar o motor de combustão interna (MCI) (SANTOS, 2020). O automóvel elétrico híbrido utiliza, também, o combustível derivado do petróleo – diesel ou gasolina – ou biocombustível – biodiesel ou etanol – como fonte de energia, porém, o motor de combustão interna atua em uma região de operação econômica, de tal modo que a demanda de potência do automóvel seja atendida pela variação das máquinas elétricas (SANTOS, 2020). O automóvel elétrico híbrido – *plug-in*, por sua vez, utiliza a eletricidade da rede elétrica, além do combustível derivado do petróleo ou biocombustível – isso graças à capacidade de funcionar de modo flexível com dois sistemas de propulsão, operada de acordo com o sistema adotado (SANTOS, 2020). Por fim, o automóvel elétrico a bateria utiliza apenas a eletricidade como fonte de energia para a propulsão, além de necessitar de alimentação por rede de energia elétrica e mantido em um sistema de armazenamento de energia (SANTOS, 2020).

### 2.4.2.2 Principais Componentes dos Motores Elétricos

Conforme apresentado anteriormente, o automóvel elétrico é aquele que possui pelo menos uma máquina elétrica no sistema de propulsão. Tal máquina, pode atuar como motor elétrico ou gerador elétrico, dependendo de sua disposição (SANTOS, 2020). Além disso, tal estrutura deve contar com um sistema de armazenamento e processamento de energia. A seguir são discutidos, em suma, os principais componentes dos motores de automóveis elétricos, segundo apresentado por Santos (2020):

- Máquina Elétrica (motores e/ou geradores) – são máquinas eletromecânicas cujo funcionamento se baseia no fenômeno de indução magnética;
- Armazenador de Energia – dispositivo elétrico que tem a capacidade de armazenar energia elétrica produzida e disponibilizá-la, nesse caso, para propulsão do veículo. Baterias e supercapacitores são exemplos de armazenador de energia;
- Processadores de Energia em Conjunto com a Eletrônica de Potência – trata-se da transmissão de energia entre as máquinas elétricas e os armazenadores de energia. Em adição, a eletrônica de potência “é tida como acoplamentos elétricos para processamento de energia elétrica entre máquinas elétricas e armazenadores de energia” (SANTOS, 2020, p. 23). Em paralelo ao acoplamento mecânico, a eletrônica de potência é vista como acoplamento elétrico;
- Acoplamentos Mecânicos – consiste no sistema de engrenagens para transmissão de torque e potência e processamento de energia mecânica em nível de torque, potência e velocidade.

A Figura 14 ilustra, resumidamente, as informações sobre alguns dos componentes dos veículos elétricos:

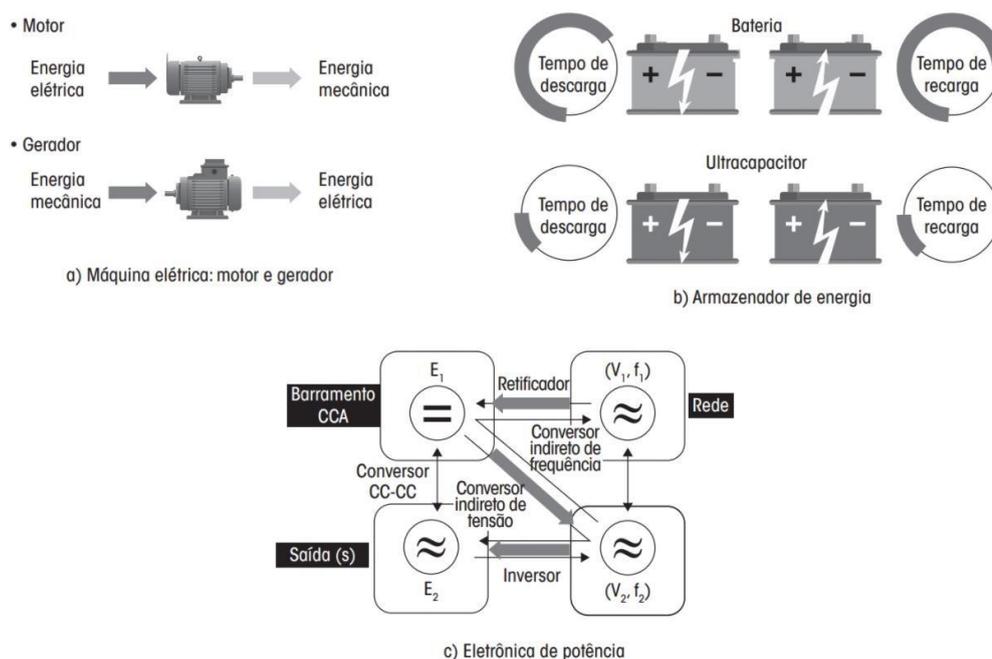


Figura 14: Principais Componentes dos Automóveis Elétricos.  
Fonte: Adaptado de Santos (2020).

O automóvel elétrico utiliza uma ou mais máquinas elétricas ou motores de tração para propulsão, podendo ser alimentado por um sistema coletor de eletricidade de fontes externas ao automóvel, ou, ainda, ser autossuficiente com uma bateria, painéis solares, microgeração, entre outros (SANTOS, 2020). Vale destacar que o termo automóvel elétrico incorpora embarcações de superfície e submersas, aeronaves e espaçonaves elétricas, entre outros; isto é, não se limitam apenas à automóveis terrestres, rodoviários e ferroviários (SANTOS, 2020).

#### 2.4.2.3 Fonte de Propulsão Para Automóveis Elétricos

Para desempenhar a função primária dos automóveis elétricos, as máquinas elétricas que o compõem necessitam de eletricidade como fonte para promover a propulsão. Essa eletricidade é originada, exclusivamente, da matriz elétrica. Tal recurso é descrito com maiores detalhes e esclarecimentos no item 2.5 deste capítulo, por se tratar de um assunto que requer atenção mais especial – já que é complexo e que envolve uma série de variáveis.

Uma temática que merece destaque nesse cenário ao custo para se obter a fonte de propulsão. Um estudo divulgado pela NeoCharge (2021), compara o preço para se ter a bateria ou tanque cheio, isto é, confronta os custos para abastecer o carro a combustão e o elétrico. A NeoCharge (2021) definiu os seguintes parâmetros a serem considerados para o cenário do estudo em questão:

- Distância genérica de 15.000 km a ser percorrida pelos automóveis;

- Consumo médio de 10 km/l para o carro a combustão, considerando que este utilize a gasolina como combustível. O custo adotado para a gasolina foi de R\$ 7,10 por litro;
- Consumo médio de 8 km/kWh para o carro elétrico (totalmente elétrico). O preço médio de energia elétrica considerado para o estudo foi baseado na média do custo da energia residencial para São Paulo-SP no ano de 2021, que é na faixa de R\$ 0,86 por kWh já considerando os impostos.

A Tabela 8 detalha os parâmetros considerados na análise e os gastos finais obtidos para a distância genérica adotada:

Tabela 8: Comparação do Custo de Abastecimento do Carro a Combustão e Elétrico.

	<b>CARRO A COMBUSTÃO</b>	<b>CARRO ELÉTRICO</b>
<b>Distância percorrida</b>	15.000 km	15.000 km
<b>Consumo</b>	10 km / litro	8 km / kWh
<b>Preço do combustível / energia (março de 2022)</b>	R\$ 7,10 por litro	R\$ 0,86 por kWh
<b>Gasto total</b>	R\$ 10.650,00	R\$ 1.612,50

Fonte: Adaptado de NeoCharge, (2021).

É fato que o cálculo apresentado acima pode variar os parâmetros considerados, de maneira a favorecer mais ou menos um dos automóveis tomados como análise. Os resultados obtidos no estudo descrito acima e a tabela anterior, evidenciam o quão relevante é a diferença de custo para abastecer o carro a combustão e o carro elétrico, destacando uma vantagem-chave para os automóveis elétricos.

#### 2.4.2.4 Vantagens e Desvantagens dos Automóveis Elétricos

A Tabela 9 apresenta comentários e detalhes das vantagens e desvantagens dos automóveis elétricos:

Tabela 9: Vantagens e Desvantagens dos Automóveis Elétricos.

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESvantagens</b>
------------------	---------------------

Custo de Abastecimento	Conforme estudo comparativo apresentado no item 2.4.2.3 deste capítulo	Autonomia	Autonomia média entre os diferentes tipos de motores:  - híbrido: 400 km a 700 km utilizando combustível - híbrido com Plug In: 30 km a 120 km com a carga da bateria e 400 km a 700 km usando combustível - elétrico a bateria: 100 km a 400 km - elétrico a célula de combustível: 320 km a 600 km
Desempenho e Eficiência	O motor elétrico pode aproveitar cerca de 95% da energia recebida	Baterias	Elevado impacto ambiental ocasionado pela produção e descarte de baterias específicas para os automóveis elétricos
Fonte de Propulsão Flexível	A matriz elétrica pode ser originada de diversas fontes	Custo do Automóvel Elétrico	Muito mais elevado quando comparado ao automóvel a combustão
Manutenção	Número de componentes reduzido e, conseqüentemente, redução da manutenção se comparado aos automóveis a combustão	Gestão do Uso da Energia	Detalhado e esclarecido no item 2.6 deste capítulo
Potência	Mais potente que os automóveis a combustão	Pontos Para Recarga Elétrica	Ainda muito limitado
Ruído	Menor dissipação de energia em forma de som se comparado aos automóveis a combustão	Tempo Para Recarga Elétrica	Longo tempo de espera para recarregar os automóveis elétricos
Sustentabilidade	Não emite poluentes diretos durante a fase de uso		

Fonte: Pesquisa Direta (2022).

### 2.4.3 Automóveis Elétricos a Célula de Combustível ou *Fuel Cell Electric Vehicle*

Por possuir uma máquina elétrica no sistema de propulsão, os automóveis a célula de combustível ou *fuel cell* fazem parte de um dos tipos de automóveis elétricos (SANTOS, 2020). Porém, por se tratar de um automóvel que possui uma fonte de propulsão, um processo de conversão de energia e um conceito totalmente diferentes dos automóveis elétricos, foi decidido abordar os *fuel cell* em um tópico exclusivo, já que representam, de acordo com muitos estudiosos, uma terceira via alternativa para a mobilidade.

Apesar de muitos pensarem que esses automóveis são uma inovação recente, já é uma aposta de projeto que vem sendo desenvolvida desde os anos 90 e que hoje conta com propostas mais amadurecidas (SOUZA, 2017).

Os automóveis *fuel cell*, célula de combustível ou pilha de hidrogênio são automóveis elétricos que utilizam o hidrogênio como fonte de energia (MIRANDA *et al.*, 2013). A principal diferença entre um automóvel a hidrogênio e o restante dos automóveis elétricos é que os automóveis a hidrogênio produzem sua eletricidade tendo o hidrogênio como fonte de propulsão, isto é, não necessitam de uma ligação com a rede elétrica – a maneira como a energia chega ao motor é diferente (MIRANDA *et al.*, 2013). Ao invés de se movimentarem com a eletricidade de uma rede eterna, produzem-na a bordo, utilizando o elemento mais abundante do planeta: o hidrogênio.

Para possibilitar a propulsão dos automóveis a hidrogênio, é necessário que, no interior do motor (célula de combustível) e durante o processo de combustão e explosão, ocorra uma reação conhecida como eletrólise reversa (MIRANDA *et al.*, 2013). Tal reação, nos automóveis *fuel cell*, consiste na combinação do hidrogênio  $H_2$  – contido no interior do tanque desses automóveis – com o oxigênio  $O_2$  atmosférico (MIRANDA *et al.*, 2013). No fim desta reação é liberada, além de calor e água, a energia elétrica, que é direcionada, então, para alimentar o motor elétrico, permitindo, posteriormente, a propulsão (MIRANDA *et al.*, 2013). Por se tratar de uma reação que tem como produto água, calor e eletricidade, os automóveis *fuel cell* não emitem, diretamente e localmente – no processo de conversão de  $H_2$  para propulsão –, gases poluentes (MIRANDA *et al.*, 2013).

#### 2.4.3.1 Componentes Extras dos Automóveis Elétricos *Fuel Cell*

Conforme mencionado anteriormente, os automóveis elétricos *fuel cell* também são dotados de motores elétricos. Além dos componentes existentes nos motores elétricos – já detalhados no item 2.4.2.2, os automóveis elétricos *fuel cell* também contam com outros

componentes necessários para seu funcionamento propicio: a célula a combustível e o tanque de hidrogênio (MIRANDA *et al.*, 2013). Tais componentes são, de acordo com Miranda *et al.* (2013) detalhados a seguir:

- Célula a combustível – componente que viabiliza a eletrolise reversa, isto é, onde ocorre a conversão do hidrogênio em eletricidade;
- Tanque de hidrogênio – local em que o hidrogênio é armazenado. Tal componente, para esses automóveis, necessita de tecnologia para manter um preciso controle de pressão e temperatura, de maneira a evita que qualquer acidente envolvendo o hidrogênio ocorra.

A Figura 15 contempla os componentes principais dos automóveis elétricos *fuel cell*:



Figura 15: Principais Componentes dos Automóveis Elétricos *Fuel Cell*.  
Fonte: Torres (2016, p. única).

A partir da Figura 15 fica evidente, além do apresentado, a diferença dimensional existente entre as baterias dos automóveis totalmente elétricos e automóveis elétricos *fuel cell*.

#### 2.4.3.2 Fonte de Propulsão Para os Automóveis Elétricos *Fuel Cell*

Os automóveis elétricos *fuel cell* utilizam o hidrogênio  $H_2$  como fonte de energia para propulsão. Nicheletti (2013, p. 1) apresenta uma introdução atrativa para o hidrogênio:

O hidrogênio é um elemento químico com número atômico 1, sendo representado pelo símbolo H, sendo o elemento menos denso, apresentando-se geralmente em sua forma

molecular, formando o gás diatômico  $H_2$ . O hidrogênio é o elemento químico de maior abundância no universo, constituindo cerca de 75% da massa elementar do mesmo. No entanto a ocorrência do hidrogênio elementar na atmosfera terrestre é muito pequena, devido ao campo gravitacional ser pequeno demais para segurar um elemento tão leve, e é industrialmente produzido a partir de hidrocarbonetos presentes no gás natural, tais como metano.

Tal elemento químico é quase sempre encontrado como parte de outro composto, como a água  $H_2O$  ou metano  $CH_4$  e, para ser usado em automóveis, precisa ser separado em hidrogênio puro (MIRANDA *et al.*, 2013). Uma vez separado em hidrogênio puro é combinado com o oxigênio atmosférico por meio de uma célula de combustível, gerando, assim, eletricidade e eliminando água através de um processo eletroquímico (MIRANDA *et al.*, 2013).

O hidrogênio  $H_2$  pode ser produzido através de diversos recursos, incluindo combustível fóssil, biomassa e eletrólise da água, em que o impacto ambiental e a eficiência energética do hidrogênio, depende de como este é produzido (MIRANDA *et al.*, 2013). A escolha do método de produção do hidrogênio depende da quantidade que se quer produzir e do grau de pureza, onde as tecnologias de produção do hidrogênio necessitam de energia sobre alguma forma de calor, luz ou eletricidade de forma a que se inicie o processo (NICHELETTI, 2013). Vale salientar que quando um processo demanda mais energia que é liberada, este não é sustentável.

Dentre os principais processos para se produzir hidrogênio estão a reforma do gás natural e a eletrólise da água, detalhados a seguir, de acordo com Nicheletti (2013):

- Reforma do gás natural – o gás de síntese é uma mistura de combustível de gases e é produzido pelo processo de gaseificação. É basicamente criado pela reação do gás natural com o vapor em alta temperatura e, posteriormente, o monóxido de carbono reage com a água, separando o hidrogênio adicional. Tal método consiste no mais barato, mais eficiente e mais comum na produção do hidrogênio. No entanto, do ponto de vista ambiental, esse sistema de produção de hidrogênio não é considerado sustentável, por conta da emissão de  $CO_2$ , que contribui para o efeito estufa. Além disso, isso depende da extração de gás natural, que gera dependência de combustíveis fósseis. O gás de síntese também pode ser criado pela reação de carvão ou biomassa, com vapor em alta temperatura e o oxigênio em um gaseificador pressurizado;
- Eletrólise – nesse processo, uma corrente elétrica divide a água em hidrogênio e oxigênio. Se a eletricidade for produzida por fontes renováveis de energia, o hidrogênio resultante também é considerado renovável, tendo vários benefícios

em termos de emissões. O principal dispositivo utilizado no processo de eletrólise é o eletrolisador, que consiste em dois eletrodos metálicos e uma fonte de alimentação contínua que fornece uma carga negativa e uma carga positiva. A taxa de hidrogênio e oxigênio produzido depende da intensidade da corrente elétrica.

A Figura 16 exibe uma célula de combustível que recorre ao processo de eletrólise para a obtenção do hidrogênio puro:

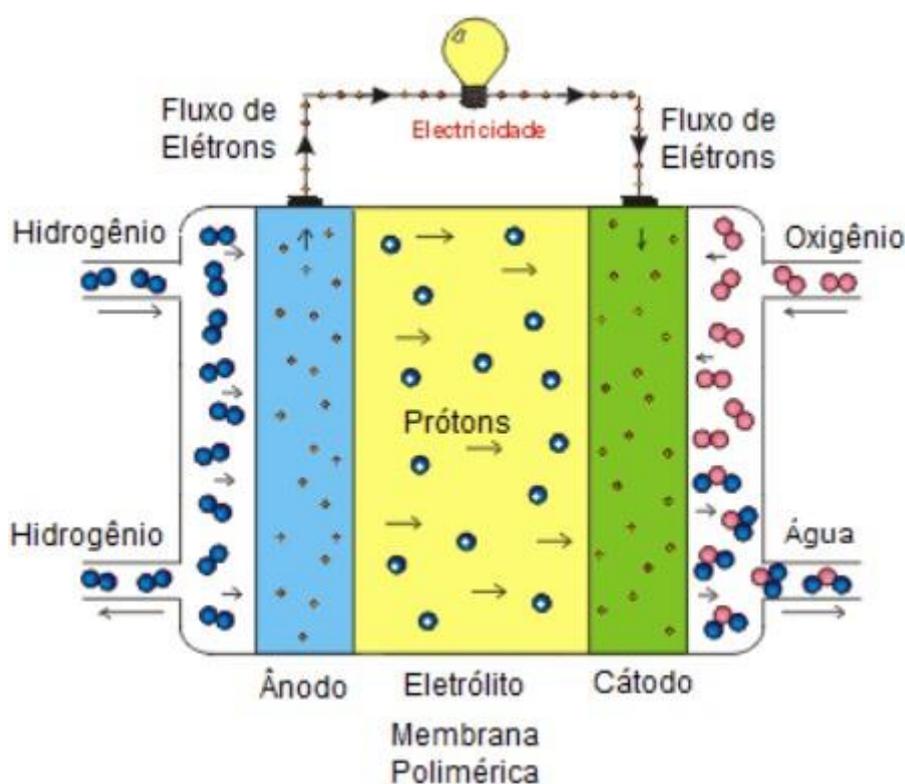


Figura 16: Célula a Combustível com uso de Membrana Trocadora de Prótons.  
Fonte: Miranda *et al. apud* Marques (2013, p. 165).

A eletrólise da água, processo tido como o principal para a obtenção do hidrogênio a ser utilizado como combustível em automóveis *fuel cell*, é totalmente dependente do preço da eletricidade e, esse processo, deve tirar proveito de energias mais baratas e limpas (MIRANDA *et al.*, 2013).

#### 2.4.3.3 Vantagens e Desvantagens dos Automóveis Elétricos *Fuel Cell*

Mesmo possuindo vantagens de não emitir poluentes diretos – localmente –, possuir reabastecimento ágil e fácil e contar com uma ótima autonomia, os automóveis elétricos *fuel cell* contam com limitações muito mais desafiadoras que os automóveis totalmente elétricos.

Em primeiro lugar, pode-se citar os custos mais elevados com a produção e os valores atuais do combustível hidrogênio (SOUZA, 2017). Além disso, as limitações na rede de abastecimento também se apresentam como uma grande desvantagem para essa tecnologia, uma vez que o contexto atual do planeta é de escassez de estações dedicadas ao abastecimento de hidrogênio; “nos Estados Unidos, por exemplo, só há 14 postos de abastecimento de hidrogênio” (SOUZA, 2017, p. única). Talvez sejam esses os motivos pelos quais várias empresas automobilísticas priorizam a tecnologia dos automóveis totalmente elétricos e consideram os automóveis a hidrogênio ainda inviáveis para o cenário atual.

Em resumo e segundo defendido por Souza (2017), é destacado as vantagens dos automóveis elétricos *fuel cell*:

- Autonomia – a capacidade de percorrer distâncias é maior que para os automóveis totalmente elétricos;
- Baixo ruído – por se tratar de um automóvel que possui uma máquina elétrica para propulsão, a emissão de ruídos e poluição sonora é muito baixa;
- Reabastecimento ágil, fácil e rápido – o hidrogênio H<sub>2</sub>, por se tratar de um combustível que fica armazenado em bombas específicas disponíveis em postos de reabastecimentos para automóveis elétricos *fuel cell*, pode reabastecer esses automóveis em um tempo entre 3 e 5 minutos – tempo de espera semelhante para reabastecer os automóveis de motores de combustão interna;
- Resistência – Graças ao seu revestimento e material de produção, os carros a hidrogênio tendem a ter um chassi muito mais resistente que um veículo convencional;
- Sustentabilidade – não emitem diretamente – localmente – gases poluentes para o ambiente.

Ainda de acordo com Souza (2017), são apresentadas as desvantagens para o uso desses automóveis que, segundo especialistas superam as vantagens, fazendo com que essa alternativa ainda não seja definida como a principal para o futuro da indústria automotiva:

- Armazenamento do hidrogênio – um grande desafio do hidrogênio é seu armazenamento. Para manter esse elemento em estado e viável de abastecimento e uso, é necessário controlar pressão e temperatura ideais – processos esses que também demandam energia;

- Obtenção do hidrogênio – apesar de abundante, o hidrogênio é um elemento muito reativo e geralmente encontrado associado a outros, principalmente ao carbono e oxigênio. Os processos para obtenção do hidrogênio puro consomem quantidades elevadas de energia, que muitas vezes não são compensadas. E, além disso, enquanto o automóvel elétrico *fuel cell* não polui diretamente, a obtenção do combustível para a propulsão polui;
- Preço de compra – a célula de combustível existente nesses automóveis ainda possui custos muito elevados, o que faz dos *fuel cell* ainda não serem tão populares;
- Rede de postos de abastecimento – atualmente é muito limitada, poucas estações de serviço estão preparadas para o abastecimento de hidrogênio;
- Vida útil – assim como para os automóveis totalmente elétricos, a vida útil também é limitada. Enquanto os automóveis totalmente elétricos possuem vida útil em torno de 10 anos, para os automóveis elétricos *fuel cell* esse valor é em torno de 15 anos.

## 2.5 A Energia

### 2.5.1 Energia e Suas Formas

A etimologia de energia é do grego *enérgeia* (FERREIRA, 1995). O conhecimento sobre a energia é muito vasto, englobando diversas áreas dos saberes e, além disso, é um conceito bastante complexo que, apesar de mencionado o tempo todo, não se compreende formalmente, uma vez que a definição de energia envolve um outro parâmetro físico: o trabalho (HINRICHS *et al.*, 2015). Ferreira (2015) define a energia, no campo da física, como sendo a faculdade que possui um sistema de corpos para fornecer trabalho mecânico ou seu equivalente; força, potência.

Hinrichs *et al. apud* Balzhiser (2015, p. 3):

Energia não é um fim em si mesma. Os objetivos fundamentais que devemos ter em mente são uma economia e um ambiente saudáveis. Temos que delinear nossa política energética como um meio para atingir esses objetivos, e não apenas para este país, mas também em termos globais.

As fontes de energia dividem-se em duas vertentes: fontes renováveis de energia e fontes não-renováveis de energia (HINRICHS *et al.*, 2015). As fontes renováveis de energia são aquelas que se regeneram, renovam, na natureza em tempo compatível à vida humana. Já as

fontes não-renováveis de energia, são aquelas que não se regeneram, renovam, na natureza em tempo compatível à vida humana, isto é, levam milhares de anos para tornarem-se disponíveis no ambiente novamente (HINRICHS *et al.*, 2015).

Dentre as principais fontes de energia renováveis estão a solar, a eólica, a hidráulica, a geotérmica e a biomassa (HINRICHS *et al.*, 2015). Já para as fontes não-renováveis destacam-se os combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral, xisto e gás natural) e a energia nuclear (obtida a partir de elementos como o urânio e o tório) (HINRICHS *et al.*, 2015).

A energia apresenta-se de diversas formas na natureza, podendo ser transformada. É importante destacar que as fontes de energia primária são as encontradas na natureza como o sol, o vento, a água, o carvão, o gás, o petróleo, entre outras (HINRICHS *et al.*, 2015). Elas são transformadas em fontes de energia secundária por meio das usinas, termoelétricas, refinarias e outras instalações industriais (BEZERRA *et al.*, 2018). A energia secundária também pode ser entendida e interpretada como os cinco tipos de energia existentes na natureza, a citar, de acordo com (BEZERRA *et al.*, 2018):

- Mecânica – associada à capacidade de produção de trabalho. Quando relacionado ao movimento, é denominado energia cinética; e quando relacionado à energia armazenada em um corpo em determinada posição, é classificada como potencial;
- Térmica – forma de energia relacionada com o calor e temperatura. Quanto maior é a temperatura de um objeto, maior será sua energia térmica;
- Elétrica – é a energia que é armazenada em partículas carregadas dentro de um campo elétrico;
- Química – as ligações químicas contêm energia acumulada. Essas ligações quando são criadas ou quebradas, absorvem ou liberam. Normalmente, o nome atribuído às substâncias que possuem energia química acumulada é combustível. Um exemplo típico envolvendo essa forma de energia é o mecanismo de propulsão de alguns automóveis, em que a energia química existente nos combustíveis é transformada em energia mecânica de movimento, através do processo de combustão. A energia química, apesar de simples, gera subprodutos poluentes que causam impactos negativos ao ambiente, a partir dos processos de transformação da mesma;
- Radiante – é classificada como a radiação eletromagnética que se propaga em todas as direções a partir de uma fonte.

A seguir será detalhado um pouco mais sobre as principais fontes de energia primária encontradas na natureza, seu potencial e detalhes básicos envolvidos em seu processo de transformação.

### 2.5.1.1 Energia Solar

É conhecida por ser a mais antiga e mais abundante do planeta (BEZERRA *et al.*, 2018). É gerada por radiações eletromagnéticas emitidas pelo sol, na forma de calor e luz. Estas podem ser facilmente convertidas para aquecimento de água e, também, transformada em energia elétrica, através da utilização de painéis fotovoltaicos – que tem o efeito fotovoltaico como princípio básico de funcionamento e geração de energia elétrica (BEZERRA *et al.*, 2018).

Trata-se de uma fonte renovável de energia. Futuramente, a previsão é que esta seja usada na maior parcela da matriz energética mundial (BEZERRA *et al.*, 2018). O processo de conversão da energia solar em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico, é uma das formas mais sustentáveis de geração. Porém, o descarte das células fotovoltaicas e a mineração para obter a matéria-prima para fabricação dos painéis fotovoltaicos, têm grandes impactos ambientais (BEZERRA *et al.*, 2018).

A Figura 17, ilustra a energia solar, o painel fotovoltaico e o efeito fotovoltaico:



Figura 17: Energia Solar, Painel Fotovoltaico e Efeito Fotovoltaico.  
Fonte: Bezerra *et al.* apud Paladjai/Shutterstock.com (2018).

O efeito fotovoltaico é o surgimento de uma tensão elétrica em um material, quando este é exposto à luz visível. Nas células fotovoltaicas, os elétrons livres vão migrar para a parte da célula que está com ausência de elétrons, tal fluxo gera corrente elétrica (BEZERRA *et al.*, 2018). Resumindo, o efeito fotovoltaico transforma a energia solar de calor e luz, em energia elétrica.

### **2.5.1.2 Energia Eólica**

É a energia cinética-mecânica contida nas massas de ar, vento, que tem potencial para geração e transformação em energia elétrica. O aproveitamento dessa forma de energia ocorre por meio da conversão de energia cinética de translação, em energia cinética de rotação, a partir do emprego de turbinas eólicas ou aerogeradores para geração de eletricidade (BEZERRA *et al.*, 2018).

Há muito tempo, a humanidade utiliza energia eólica para geração de eletricidade, com as primeiras tentativas iniciadas no final do século XIX (BEZERRA *et al.*, 2018). Seu uso foi intensificado após a crise internacional do petróleo, dado o interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial (HINRICHS *et al.*, 2015). A Figura 18 exibe o principal equipamento utilizado para conversão de energia eólica em eletricidade:



Figura 18: Parque Eólico Costeiro (*offshore*) na baía de Copenhaga, Dinamarca.  
Fonte: Hinrichs *et al.* (2015, p. 497).

Apesar de também ser uma fonte de energia bastante discutida para o futuro, por sua baixa emissão de poluentes e baixo impacto ambiental, a energia eólica apresenta alguns problemas como altos ruídos, desvalorização do terreno e alteração de rotas de aves (BEZERRA *et al.*, 2018). Além disso, trata-se de um recurso energético renovável e sazonal, que sofre variações de entrega de capacidade, de acordo as estações do ano e intempéries ambientais (BEZERRA *et al.*, 2018).

### **2.5.1.3 Energia Hidráulica e Energia das Marés**

É a energia obtida a partir da força da água em movimento, em que a captação acontece através de um reservatório ou barragem composta por turbina e gerador – tal que o potencial de energia de movimento da água é transformado em eletricidade (BEZERRA *et al.*, 2018).

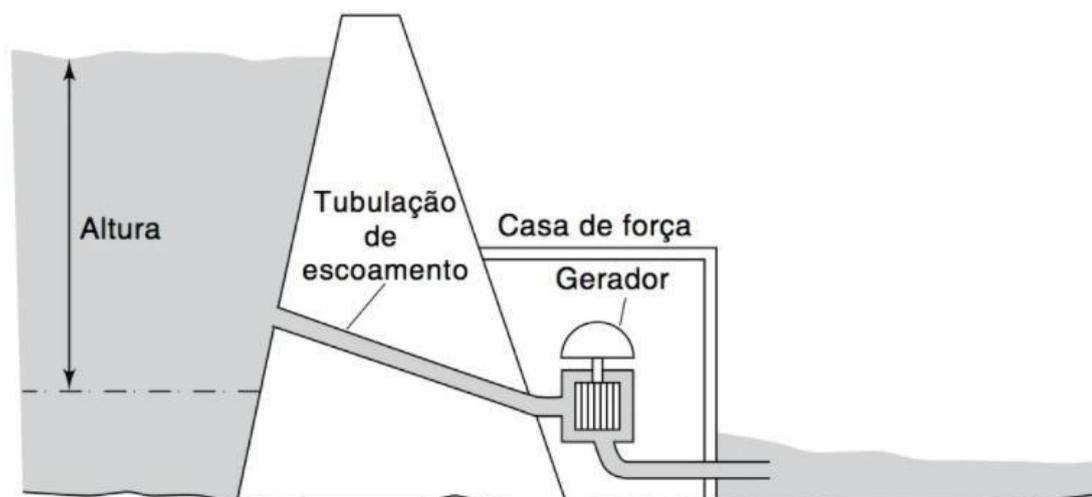


Figura 19: Modelo de Usina Hidrelétrica.  
Fonte: Hinrichs *et al.* (2015, p. 511).

Apesar de ser uma fonte renovável, um dos maiores problemas relacionados a esse tipo de energia é o grande impacto ambiental sofrido pelas regiões onde as barragens, reservatórios e usinas são construídas.

#### 2.5.1.4 Energia Nuclear

Também chamada de energia atômica, a energia nuclear é originada a partir das reações químicas de fissão ou fusão nuclear, em que um elemento transforma parte de sua massa, que é, então, convertida em energia na forma de calor (BEZERRA *et al.*, 2018). Normalmente, essa forma de energia é obtida a partir da fissão do núcleo do átomo de urânio enriquecido em ambientes controlados – as usinas nucleares (BEZERRA *et al.*, 2018) – conforme apresenta a Figura 20:

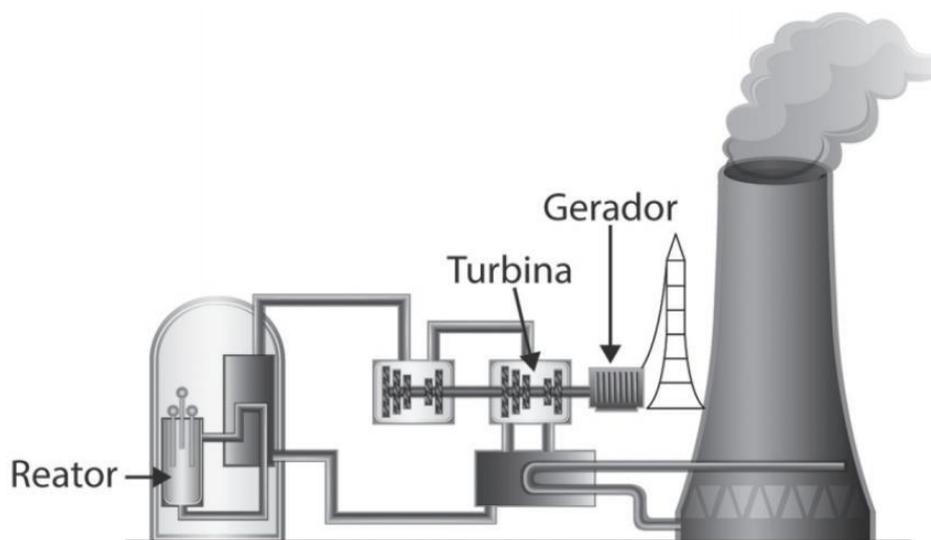


Figura 20: Síntese de uma Usina Nuclear.  
 Fonte: Bezerra *et al.* apud BlueRingMedia/Shutterstock.com (2018, p. 32).

As centrais ou usinas nucleares são instalações industriais empregadas para produção de energia elétrica a partir da energia nuclear. O calor/vapor produzido a partir do uso de materiais radioativos pelo processo de fissão nuclear, é destinado para girar as turbinas e produzir energia elétrica (BEZERRA *et al.*, 2018).

Apesar de não contribuírem diretamente com a emissão de gases para o efeito estufa, a energia nuclear gera fortes impactos ambientais devido à liberação de materiais radioativos – em caso de acidentes – e destinação do lixo atômico (BEZERRA *et al.*, 2018).

A fusão nuclear produz uma quantidade de energia muito maior do que a fissão nuclear e, por isso, é muito mais difícil de ser controlada.

#### 2.5.1.5 Combustíveis

Combustível, do termo latim *combustibile*, é uma substância que reage com o comburente (normalmente oxigênio) liberando energia em forma de calor, chamas ou gases (FERREIRA, 1995).

Os combustíveis podem ser originados de diversas fontes, tais como: animais e vegetais fossilizados, como é o caso do petróleo; plantas, a citar arroz e cana de açúcar; eletrólise da água; lixo; entre outros (DIAS, 2021).

Dias (2021) classifica os combustíveis, também, em renovável e fóssil. Os combustíveis renováveis, assim como a energia, são aqueles obtidos a partir de fontes naturais que podem renovar-se em curto espaço de tempo, tais como água, etanol, metanol, biodiesel e madeira

(DIAS, 2021). Os combustíveis fósseis são obtidos a partir de fontes que foram formadas durante milhões de anos através da fossilização de animais e vegetais e que, por sua vez, não são renováveis na natureza em tempo hábil comparado à sobrevivência do homem (DIAS, 2021). São exemplos de combustíveis fósseis os derivados do petróleo (a citar gasolina e óleo diesel), carvão, xisto betuminoso, gás liquefeito propano (GLP), entre outros (DIAS, 2021).

O estado físico também é uma característica importante para definir a aplicabilidade dos combustíveis (DIAS, 2021). Os combustíveis podem ser encontrados no estado sólido, líquido ou gasoso (DIAS, 2021). O combustível no estado sólido é normalmente utilizado em motores de combustão externa, na forma de um pó bastante fino, como, por exemplo, madeira e carvão. O combustível no estado líquido são ideais para uso em motores de combustão interna, sendo que, boa parte desses são obtidos a partir do petróleo, como gasolina, álcool e diesel. Por último, o combustível no estado gasoso, que é aplicável em câmaras internas, geralmente em misturas de duas ou mais substâncias gasosas, a destacar metano, hidrogênio e gás natural (DIAS, 2021).

“Cerca de 85% das fontes comerciais de energia usadas no mundo são oriundas de combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural” (HINRICHS *et al.*, 2015, p. 253). Com exceção do carvão, as reservas desses combustíveis, diante das taxas de consumo, podem não durar mais que a existência das pessoas vivas hoje (HINRICHS *et al.*, 2015).

Mais especificamente abordando o petróleo – o combustível de maior uso – parece apresentar as menores reservas globais e, ao mesmo tempo, se mantém como a maior mercadoria da qual a sociedade depende (HINRICHS *et al.*, 2015). A dependência do petróleo, especialmente para o transporte, é, de fato, condição de vulnerabilidade para vários países frente a um desastre econômico de grandes proporções. Situação essa ainda mais evidente a partir da análise abordada por Hinrichs *et al.* (2015, p. 254):

Um efeito colateral dos preços baixos do petróleo bruto é a redução na exploração de petróleo e gás. Quando o preço do petróleo bruto subiu de forma abrupta em 1981, a exploração atingiu níveis recordes. Havia 681 equipes engajadas em exploração, os poços rotatórios eram 3.970, e os poços exploratórios abertos eram 17.500 por ano. À medida que os preços do petróleo caíam na metade da década de 1980, havia cortes drásticos na exploração.

## **2.5.2 Gestão do Uso da Energia**

A energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna. É essencial e necessária para a maioria das atividades e setores existentes no mundo, incluindo a criação de

bens com base em recursos naturais e no fornecimento de muitos dos serviços com os quais a humanidade tem se beneficiado. O desenvolvimento econômico, bem como os altos padrões de vida, são processos complexos que compartilham um denominador em comum: a disponibilidade de um abastecimento adequado e confiável de energia (HINRICHS *et al.*, 2015). Ainda segundo o autor, a modernização do Ocidente, por exemplo, foi a pioneira devido à utilização de tecnologia moderna firmada em uma ampla série de avanços científicos, os quais foram energizados por combustíveis fósseis.

Tal constituinte permeia todos os setores da sociedade – economia, política, ambiente, relações internacionais –, assim como a própria vida – moradia, transporte, lazer, alimentação, saúde e muito mais (HINRICHS *et al.*, 2015). O uso dos recursos energéticos libertou a humanidade de muitos trabalhos penosos, que exigiam força bruta, e concentrou os esforços para serem mais produtivos. “Os seres humanos já dependeram de sua força muscular para gerar a energia necessária à realização de seus trabalhos. Hoje, menos de 1% do trabalho feito nos países industrializados depende da força muscular como fonte de energia” (HINRICHS *et al.*, 2015, p. 2).

De acordo com Hinrichs *et al.* (2015), a percepção sobre a crucialidade da energia é evidenciada nos diversos eventos políticos ocorridos na segunda metade do século passado e início deste século. O embargo do petróleo em 1973, a Revolução Iraniana em 1979, a Guerra do Golfo Pérsico de 1991 e a invasão do Iraque em 2003 são exemplos de acontecimentos envolvendo recursos para se gerar energia (HINRICHS *et al.*, 2015).

“Os suprimentos de energia são fatores limitantes primordiais do desenvolvimento econômico” (HINRICHS *et al.*, 2015, p. 2). O acesso a recursos energéticos adequados, confiáveis e de qualidade é um fator central para o desenvolvimento da economia, uma vez que o mundo vem se tornando muito interdependente. Hinrichs *et al.* (2015, p. 2) afirma que “40% da energia global vem do petróleo, boa parte importada do Golfo Pérsico pelas nações industrializadas”.

A energia não é criada, nem destruída; é convertida e distribuída de uma força para outra, como por exemplo: energia química transformada em calor ou energia eólica transformada em energia elétrica (TURNS, 2013). “Entender a energia significa entender os recursos energéticos e suas limitações, bem como as consequências ambientais da sua utilização. Energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico estão forte e intimamente conectados” (HINRICHS *et al.*, 2015, p. 2).

A gestão do uso dos recursos energéticos e a exploração destes são uns dos principais fatores a afetar e impactar o ambiente. O crescimento da utilização de combustíveis fósseis, por exemplo, causou um aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico de mais de 30% e, também, aumento da temperatura, fatores responsáveis pelo desencadeamento de derretimento de calotas polares, aumento dos níveis dos oceanos, mudança nas áreas de agricultura, entre outros (HINRICHS *et al.*, 2015). Um evento recente que ilustra um acidente quanto à extração dos recursos energéticos, é o vazamento de petróleo no Golfo do México em 2010.



Figura 21: Foto Aérea do Vazamento de Petróleo no Golfo do México, em 2010.  
Fonte: Hinrichs *et al.* (2015, p. 7).

A Figura 21 exhibe o maior desastre de vazamento de petróleo do mundo. Acidentes desse tipo acontecem e, mesmo que raros, provocam prejuízos ambientais.

A Figura 22, a título de comparação, apresenta o consumo de energia nos Estados Unidos nos últimos 200 anos, por combustível usado:

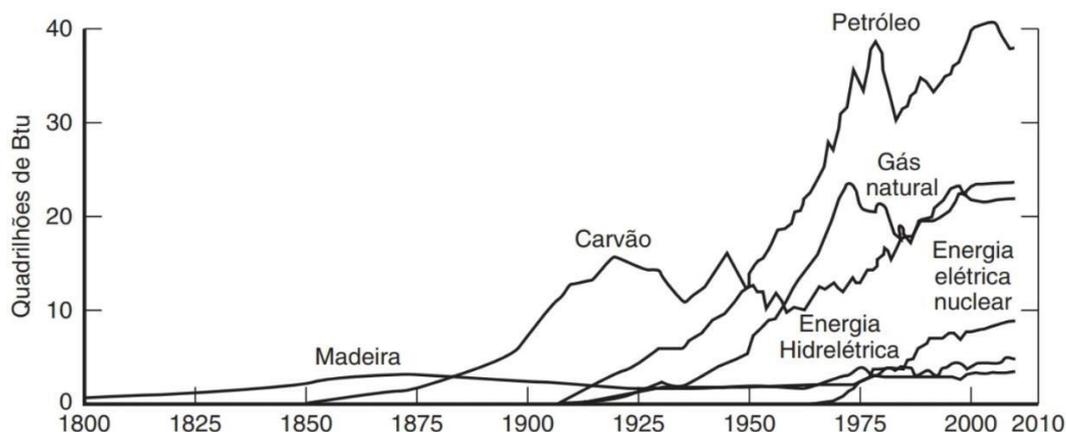


Figura 22: Energia nos Estados Unidos.

Fonte: Hinrichs *et al.* apud United States Energy Information Administration – USEIA (2015, p. 8).

A partir da Figura 22, é possível notar a forte dependência dos combustíveis fósseis para a geração de energia dos Estados Unidos nos últimos anos.

“A demanda global por energia triplicou nos últimos 50 anos, e pode triplicar novamente nos próximos 30 anos” (HINRICHS *et al.*, 2015, p. 9). Grande parte dessa demanda ocorreu nos países industrializados, e 90% dela foram satisfeitos por combustíveis fósseis (HINRICHS *et al.*, 2015).

Mesmo com o aumento da demanda, a acessibilidade para a população não é notada na mesma proporção. Em concordância com Hinrichs *et al.* (2015), 1,4 bilhões de pessoas têm pouco ou nenhum acesso à eletricidade e 2,7 bilhões, dependem basicamente de combustíveis tradicionais, como madeira por exemplo. Tal deficiência é reflexo da deficiência na gestão, impondo sérias restrições ao desenvolvimento social e à saúde dessas populações.

A matriz elétrica e energética mundial são exibidas nos gráficos da Figura 23 e Figura 24, respectivamente. A matriz elétrica é o conjunto de fontes de energia utilizadas para a produção de energia elétrica (HINRICHS *et al.*, 2015). A matriz energética, por sua vez, é um termo utilizado para fazer referência a todos os tipos de energia (fontes energéticas) colocados para o consumo em uma determinada região (HINRICHS *et al.*, 2015).

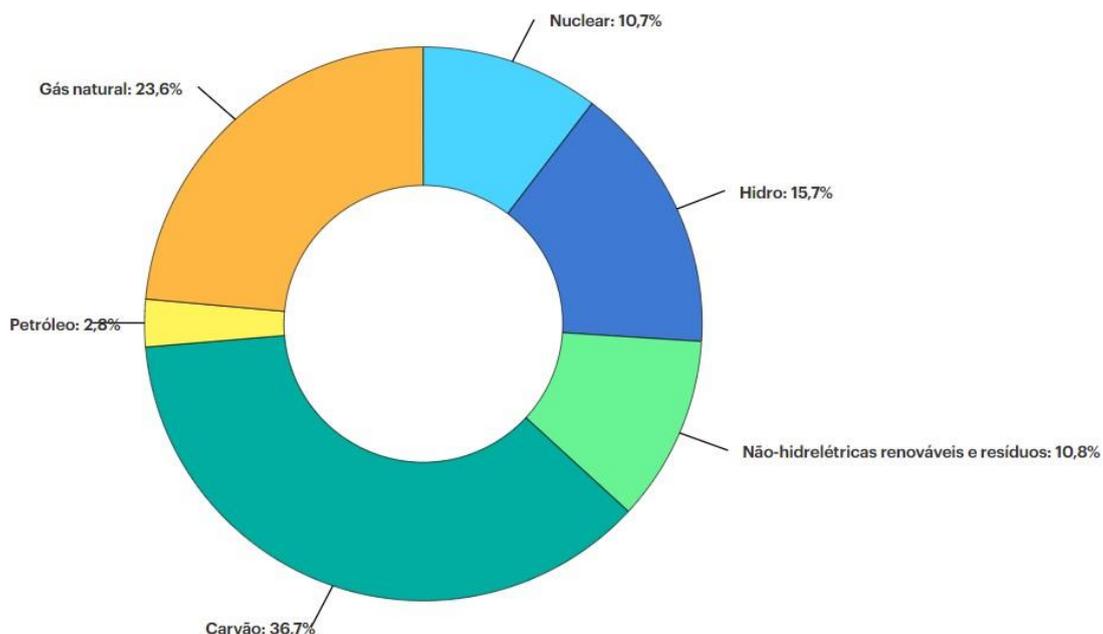


Figura 23: Participação Global da Geração de Energia Elétrica, 2019.  
Fonte: IEA – *International Energy Agency* (2019).

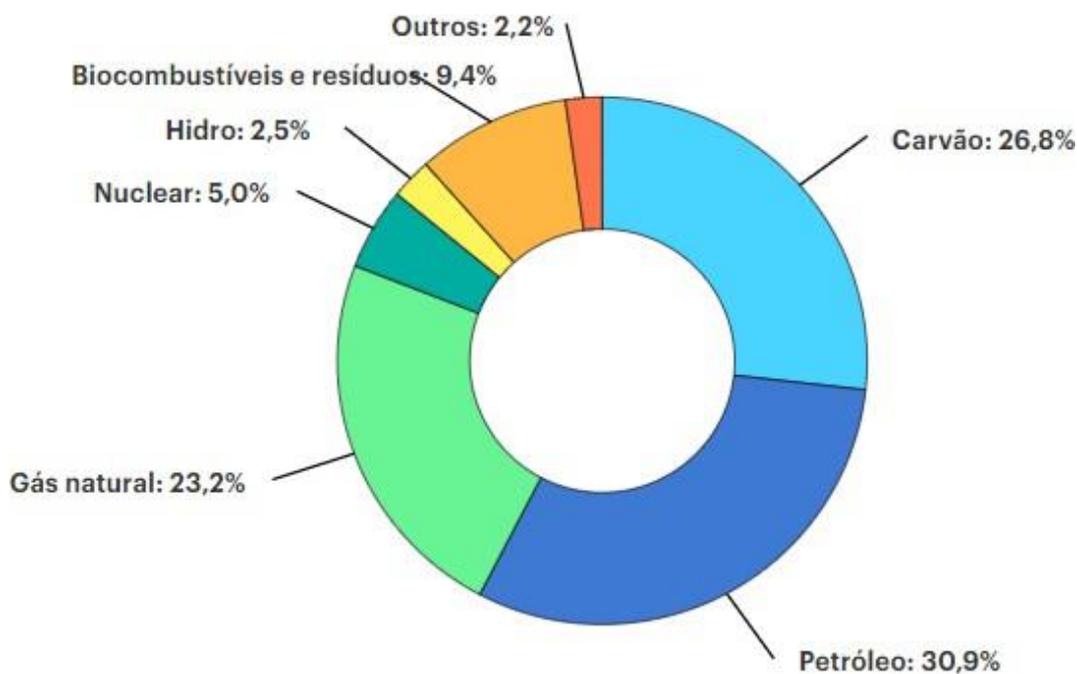


Figura 24: Participação Global do Fornecimento Total de Energia Por Fonte, 2019.  
Fonte: IEA – *International Energy Agency* (2019).

Em concordância dos gráficos da Figura 23 e Figura 24, Hinrichs *et al.* (2015, p. 10), apresentam um cenário para a transição das fontes de energia:

Originalmente, para produzir trabalho, os seres humanos utilizaram, além de seus músculos, os animais, a água e o vento. A sociedade pré-industrial assentava-se no uso de fontes renováveis de energia, como a água, o vento, o sol e a biomassa. A mudança para o uso de recursos não renováveis começou no século XVIII, quando

uma sociedade cada vez mais industrializada passou a queimar combustíveis fósseis para fazer funcionar as máquinas a vapor (inventadas em 1763) e para fundir o ferro. Observe que em torno de 80% da energia usada nos Estados Unidos vêm de combustíveis fósseis. No caso do mundo, se combustíveis não comerciais tradicionais como madeira e esterco forem contabilizados, as fontes renováveis respondem por aproximadamente 20% do total consumido.

Fontes renováveis de energia incluem hidrelétrica, biomassa (madeira e derivados), o vento (eólica), fotovoltaica e a energia solar para aquecimento, refrigeração e produção de eletricidade (HINRICHS *et al.*, 2015). Apesar de contribuírem muito pouco para o total da demanda energética, algumas dessas tecnologias têm ganhado importância.

A relação consumo, produção e importação de energia em muitos países também é fator complexo, já que o consumo de energia é muito mais elevado que a produção, fazendo com que exista uma dependência na importação dos recursos. Os Estados Unidos, por exemplo, precisam importar petróleo para suprir sua demanda (HINRICHS *et al.*, 2015).

Mais que isso, o importante na análise da energia é o que pode ser feito com ela, isto é, examinar onde a mesma é usada. O gráfico da Figura 25 exhibe o uso final global de energia, bem como a representatividade das emissões por setor:

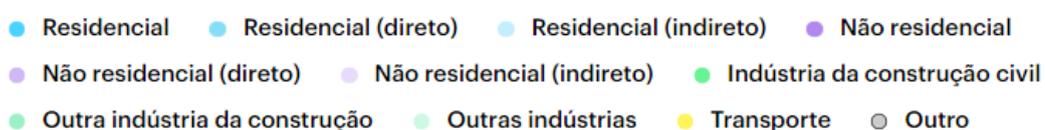
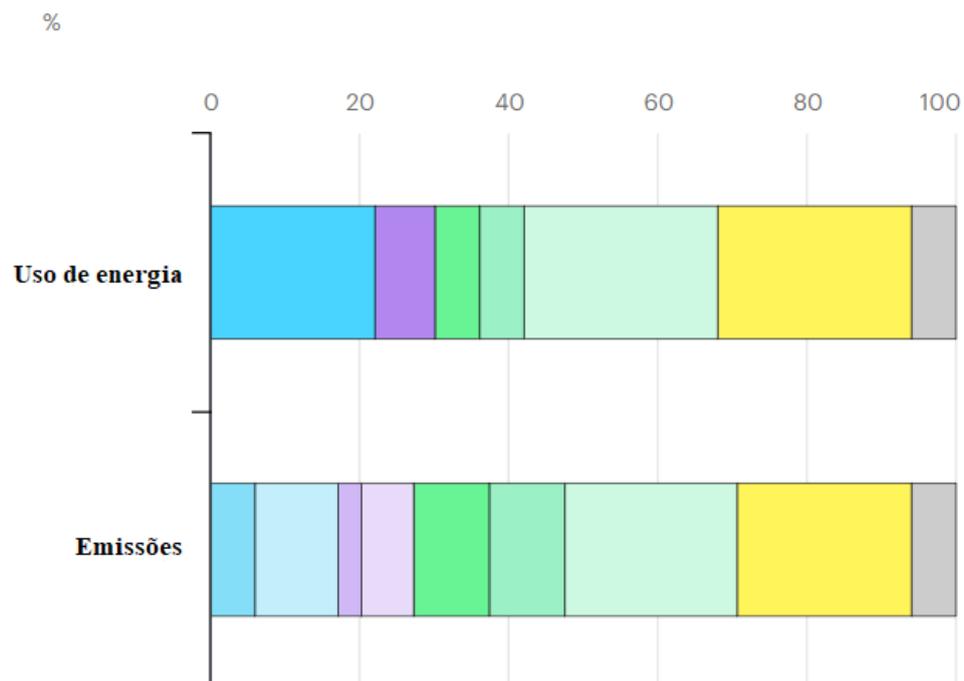


Figura 25: Uso Global de Energia e Emissões de CO<sub>2</sub> Relacionadas à Energia Por Setor, 2019.  
 Fonte: Adaptado de IEA – *International Energy Agency* (2019).

Diante do gráfico da Figura 25, são complementadas as seguintes informações, de acordo com IEA – *International Energy Agency* (2019):

- A indústria da construção civil representa a participação da indústria dedicada à fabricação de materiais de construção para edifícios – como cimento, aço, vidro e isolamento, por exemplo. Outra indústria da construção refere-se à participação da indústria que fabrica materiais para a construção de outras infraestruturas;
- Para a barra do gráfico referente ao uso de energia, as representatividades são de 22% para uso residencial; 8%, não residencial; 6%, indústria da construção civil; 6%, outra indústria da construção; 26%, indústrias em geral; 26%, transporte; 6%, outros;
- Para a barra do gráfico referente às emissões, as representatividades são de 6% para residencial (direto); 11%, residencial (indireto); 3%, não residencial

(direto); 7%, não residencial (indireto); 10%, indústria da construção civil; 10%, outra indústria da construção; 23%, indústrias em geral; 23%, transporte; 6%, outros. Referente ao setor de transportes, em específico, a representatividade das emissões ainda se divide em 3% para o modal ferroviário; 4%, motocicletas e triciclos; 5%, ônibus e miniônibus; 11%, embarcação; 11%, aviação; 21% caminhões; 45% veículos leves.

A gestão do uso da energia requer profundo conhecimento dos recursos energéticos, suas limitações e seus usos, isto é, o tamanho do recurso e o tempo que o mesmo irá durar (HINRICHS *et al.*, 2015). Segundo o autor, ambas as variáveis são difíceis de prever, uma vez que dependem de tecnologias futuras de extração, preço dos combustíveis e taxa de crescimento do consumo.

Hinrichs *et al.* (2015, p. 15) aborda o seguinte ponto de vista sobre a previsibilidade dos recursos:

As estimativas de recursos de combustíveis fósseis são mais simples em relação ao carvão, pois seus depósitos ocorrem em extensos filões que se expandem por grandes áreas e em geral é coletado na superfície da terra. Estimativas de recursos de petróleo e gás natural são mais difíceis, uma vez que tais depósitos ocorrem de forma dispersa e em profundidades que variam de alguns metros até vários quilômetros, bem como só podem ser encontrados pela exploração.

Além dos fatores mencionados anteriormente, uma outra condição importante para a estimativa da duração dos recursos energéticos é a taxa de crescimento exponencial do consumo (HINRICHS *et al.*, 2015). Não faz sentido determinar a duração de um recurso sem saber mensurar a velocidade com que a demanda sobre o mesmo está aumentando ou diminuindo. A questão é associar tal crescimento com o esgotamento dos recursos (HINRICHS *et al.*, 2015).

Em tal contexto, pode-se destacar o petróleo que, dentre os diversos recursos energéticos existentes, acredita-se apresentar como o mais crítico e volátil. O petróleo sustentou a maior parte do consumo global de energia desde a Segunda Guerra Mundial (HINRICHS *et al.*, 2015). O baixo custo de tal recurso, sua adaptabilidade e aplicabilidade a diversos usos o tornaram a alternativa mais viável para uma economia em expansão (HINRICHS *et al.*, 2015). Caracteriza-se o recurso dessa forma por ter influências diretas de eventos econômicos, históricos e políticos, que afetam na acessibilidade do mesmo.

A Opep – Organização dos Países Exportadores de Petróleo – foi formada em 1960 como uma espécie de cartel, e sua influência aumentou devido às mudanças políticas e à crescente demanda global por petróleo (HINRICHS *et al.*, 2015). Os 12 estados-membros da

Opep são Argélia, Angola, Equador, Irã, Iraque, Kuwait, Líbia, Nigéria, Catar, Arábia Saudita, Venezuela e Emirados Árabes Unidos. Tais países intensificaram sua participação no mercado de venda de petróleo no início da década de 1970 e começaram a estabelecer seus próprios preços para as exportações e tomaram o controle das mãos das companhias estrangeiras (HINRICHS *et al.*, 2015). Uma série de eventos ocorridos nas décadas de 1970, 1980 e 1990, provocaram muitas variações no preço do petróleo, que tenderam a permanecer efetivos mesmo após a mudança do cenário político, dentre elas: guerra entre árabes e israelense em 1973; a revolução iraniana de 1978 e 1979; invasão do Kuwait pelo Iraque em 1990; a resposta do mercado mundial de energia aos aumentos do petróleo e as atmosferas econômicas regionais e mundiais (HINRICHS *et al.*, 2015).

Um tópico que merece atenção em todo o contexto da gestão e uso da energia refere-se à conservação de energia. De acordo com Hinrichs *et al.* (2015), a energia total consumida em qualquer atividade pode ser considerada por dois fatores: a eficiência da atividade e o comprimento/quantidade da atividade. Hinrichs *et al.* também afirmam que os esforços da conservação de energia normalmente se concentram em algum desses fatores e faz abordagens relacionadas a tais esforços:

- o “ajuste técnico” - que consiste na utilização mais eficaz do combustível para desempenhar a mesma tarefa – como, por exemplo, um carro mais eficiente que requer menos energia para realizar a mesma atividade;
- a “mudança no estilo de vida”.

O sucesso máximo possível dos ajustes técnicos para conservação de energia é limitado por leis da física. Porém, “ainda existe muito campo para melhoramentos nessa abordagem, especialmente em relação ao uso eficiente de energia para realizar determinadas tarefas” (HINRICHS *et al.*, 2015, p. 28).

Hinrichs *et al.* (2015, p. 29) defendem que “as sociedades não vão mudar para tecnologias de energia renovável e equipamentos mais eficientes se os combustíveis fósseis forem quase gratuitos”. O aumento do enfoque nessa questão é firmado por alguns argumentos, no qual se destaca a abordagem feita por Hinrichs *et al.* (2015, p. 29):

As tecnologias de conservação são alternativas mais efetivas em relação aos custos do que o desenvolvimento de tecnologias de abastecimento adicionais. Isso quer dizer que, na maioria dos casos, será mais barato economizar 1 barril de petróleo do que desenvolver 1 barril de um novo substituto para ele.

Exemplificando, o investimento em conservação de energia gera um retorno melhor que investir em suprimentos de energia (HINRICHS *et al.* *apud* International Energy Agency, 2015).

Um cenário futuro referente à gestão do uso da energia é traçado, em que se destaca a grande possibilidade de ocorrência de crises energéticas (HINRICHS *et al.*, 2015). “A forte dependência mundial do petróleo vai continuar a ser um fator limitante do crescimento econômico [...] e as reservas petrolíferas continuarão sendo vulneráveis à situação política no Oriente Médio” (HINRICHS *et al.*, 2015, p. 34).

Por fim, Hinrichs *et al.* (2015) enfatizam que o crescimento das sociedades industrializadas tem sido sustentado pela existência de recursos abundantes e baratos e que a disponibilidade desses recursos irá ditar o progresso e o estilo de vida da humanidade. Será necessário mudar o estilo de vida independente do caminho escolhido.

## 2.6 Relatório da Pegada de Carbono do Volvo C40 Elétrico

O C40 Elétrico é o segundo automóvel da Volvo Cars totalmente elétrico, e o primeiro modelo lançado pela marca que está disponível apenas como uma versão totalmente elétrica (VOLVO, 2021).



Figura 26: Volvo C40 Elétrico.  
Fonte: Volvo (2021, p. 18).

A Volvo, indústria automotiva sueca, realizou um estudo monitorando a pegada de carbono para o automóvel elétrico Volvo C40; e para o automóvel a combustão equivalente da

marca, o Volvo XC40. Para tal, foi considerado todo o ciclo de vida dos veículos e os diferentes meios de obtenção de energia para a propulsão. Por fim, foi concedida uma análise comparativa e discussão referente aos resultados obtidos (VOLVO, 2021). A Figura 27, ilustra o descrito:

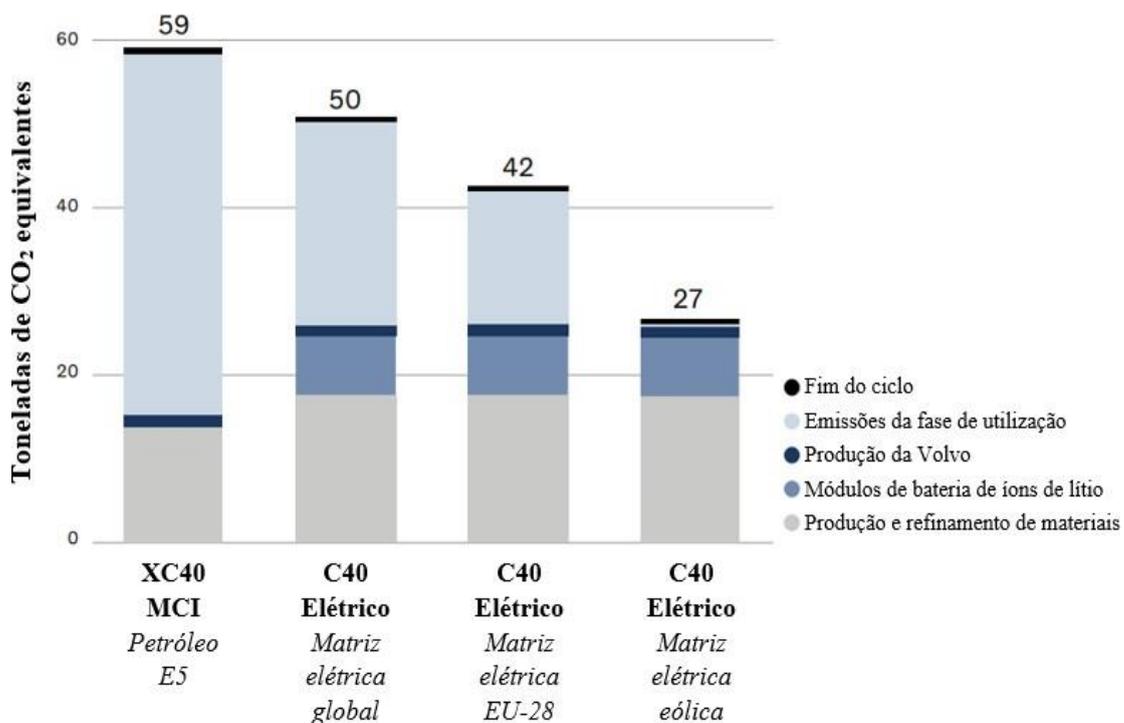


Figura 27: Pegada de carbono para o XC40 MCI e C40 Elétrico, com diferentes misturas de eletricidade utilizadas para o C40 Elétrico. Os resultados são apresentados em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por unidade funcional.

Fonte: Adaptado de Volvo (2021).

As etapas avaliadas para o ciclo de vida dos veículos a serem relacionadas com a pegada de carbono (VOLVO, 2021), a partir da Figura 27, foram:

- *Materials production and refining* – produção e refinamento de materiais;
- *Li-ion battery modules* – módulos de bateria de íons de lítio;
- *Volvo Cars manufacturing* – produção de veículos, considerando o padrão da Volvo;
- *Use phase emissions* – emissões da fase de utilização;
- *End-of-life* – fim do ciclo.

Para a fase de utilização, as fontes energéticas de propulsão examinadas (VOLVO, 2021), foram:

- *E5 petrol* – petróleo E5 para o XC40 MCI;

- *Global electricity mix* – considerando a matriz elétrica global para o C40 Elétrico;
- *EU-28 electricity mix* – considerando a matriz elétrica da União Europeia para o C40 Elétrico;
- *Wind electricity* – considerando uma matriz elétrica totalmente renovável e sustentável, nesse caso, o vento, para o C40 Elétrico.

A Tabela 10 detalha os valores em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, para cada fase do ciclo de vida, de acordo com o tipo de veículo e as fontes energéticas para a propulsão:

Tabela 10: Pegada de carbono para o XC40 MCI e C40 Elétrico, com diferentes misturas de eletricidade utilizadas para o C40 Elétrico. Os resultados são apresentados em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por unidade funcional e por fase no ciclo de vida.

<b>Tipo de veículo</b>	<b>Produção e refinamento de materiais</b>	<b>Módulos de bateria de íons de lítio</b>	<b>Produção da Volvo</b>	<b>Emissões da fase de utilização</b>	<b>Fim do ciclo</b>	<b>Total</b>
<b>XC40 MCI</b> <i>Petróleo E5</i>	14	0	1,7	43	0,6	<b>59</b>
<b>C40 Elétrico</b> <i>Matriz elétrica global</i>	18	7	1,4	24	0,5	<b>50</b>
<b>C40 Elétrico</b> <i>Matriz elétrica EU-28</i>	18	7	1,4	16	0,5	<b>42</b>
<b>C40 Elétrico</b> <i>Matriz elétrica eólica</i>	18	7	1,4	0,4	0,5	<b>27</b>

Fonte: Adaptado de Volvo (2021).

A evidência de variação mais significativa exibida pela Tabela 10, é para as emissões da fase de utilização, que oscilam de acordo com a fonte energética para a propulsão. O diagrama da Figura 28, ilustra mais detalhes referentes à fase de utilização e ao ponto de equilíbrio, quando se compara as variáveis do estudo:

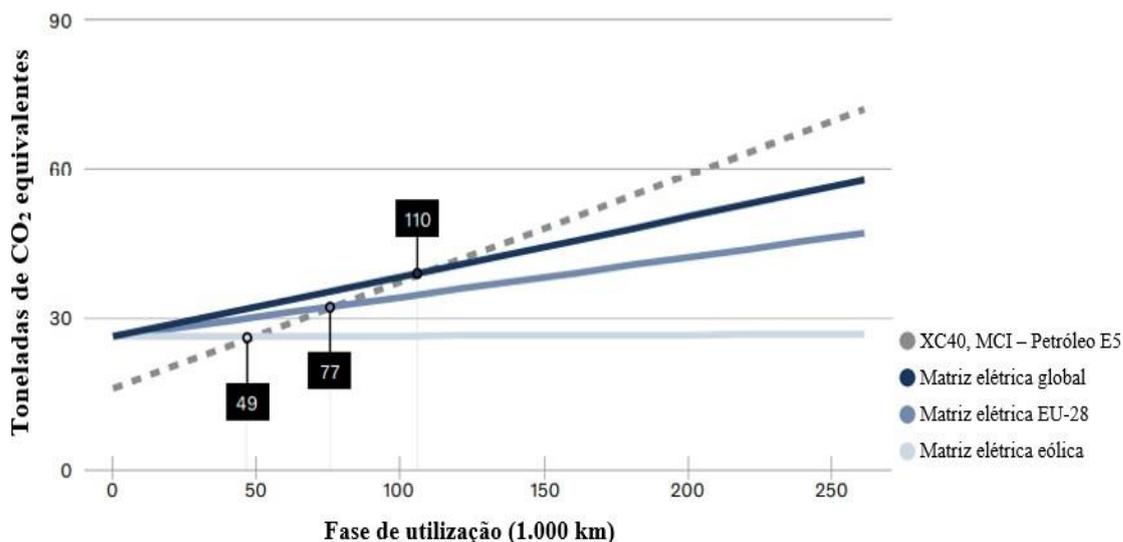


Figura 28: Diagrama de ponto de equilíbrio (compensação) entre o XC40 MCI (linha tracejada) e C40 Elétrico (com diferentes misturas de eletricidade na fase de utilização).  
Fonte: Adaptado de Volvo (2021).

A distância de rodagem analisada para a fase de utilização foi de 200.000 quilômetros. O diagrama da Figura 28 refere-se ao ponto de equilíbrio (compensação) com base na quantidade total de emissões de gases do efeito estufa, dependendo dos quilômetros totais percorridos, a partir do XC40 MCI (linha tracejada) e C40 Elétrico (com diferentes misturas de eletricidade na fase de utilização). Quando as linhas se cruzam, ocorre o *break-even* (ponto de equilíbrio – compensação) entre os dois veículos. Todas as fases do ciclo de vida, exceto a fase de utilização, são resumidas e definidas como o ponto de partida para cada linha a distância zero.

Em resumo dos conteúdos apresentados nas figuras e tabela anteriores, as principais conclusões e descobertas do estudo publicado pela Volvo (2021) são:

- A emissão de poluentes incluindo as etapas de produção e refinamento de materiais, módulos de bateria de íons de lítio e manufatura do veículo, é cerca de 70% maior para o automóvel elétrico Volvo C40, em comparação com o seu automóvel a combustão equivalente, o Volvo XC40;
- Analisando o ciclo de vida completo dos veículos, o automóvel elétrico Volvo C40 – quando recarregado pela matriz elétrica global, durante a fase de uso – tem pegada de carbono 15% inferior que o automóvel a combustão Volvo XC40 – abastecido com combustível derivado do petróleo E5;
- A compensação das emissões para o automóvel elétrico Volvo C40, considerando o ciclo de vida completo e considerando que este seja recarregado

com eletricidade obtida a partir da matriz elétrica global durante a fase de uso, acontecerá em 110.000 quilômetros de rodagem;

- A compensação de emissões e o quão benéfico o veículo elétrico será, ambientalmente falando, depende diretamente da matriz elétrica utilizada para recarregá-los durante a fase de uso (única variável significativa do ciclo de vida total para o veículo elétrico analisado).

O teste de diferentes matrizes elétricas para alimentação do C40 Elétrico na fase de utilização, mostra o quão crucial a escolha da fonte de eletricidade é na determinação do ciclo de vida total para a pegada de carbono do veículo (VOLVO, 2021).

Håkan Samuelsson, chefe executivo da Volvo, diz que é preciso que governos e empresas de energia em todo o mundo aumentem seus investimentos em capacidade de energia limpa e infraestrutura de carregamento relacionada, para que os veículos totalmente elétricos possam cumprir sua promessa de mobilidade mais limpa. Para ele, a Volvo mantém seu foco em se tornar uma montadora de carros totalmente elétricos, mas essa transição precisa ser feita com o apoio de outros agentes para gerar impactos consideráveis para o meio ambiente (FELIX, 2021). A montadora Volvo (2021) ressalta que há uma probabilidade grande de contínua redução das emissões de gases do efeito estufa com a utilização dos veículos elétricos, à medida que a recorrência às fontes renováveis para eletricidade for ampliada e à medida que as técnicas de produção de materiais e desenvolvimento de baterias for otimizada.

### 3 METODOLOGIA

Metodologia é o estudo dos métodos, neste caso, o método científico. Consiste na arte de dirigir a investigação no sentido da busca pela verdade (FERREIRA, 1995).

De um modo geral, o método é o meio adotado para se alcançar determinado resultado. Indica a maneira pela qual o pesquisador deve proceder para converter sua consideração ideológica ou literária em explicação científica e obter o resultado pretendido (MARCONI e LAKATOS, 2021). Se apresenta como um conjunto de processos ordenado, regular, explícito e passível de repetição que se segue em uma investigação (MARCONI e LAKATOS, 2021).

O método científico, por sua vez, é apresentado por Lozada e Nunes (2018, p. 144) a partir de uma perspectiva simplificada, como sendo

a sequência de operações realizadas com a intenção de alcançar certo resultado, sendo um modo sistemático e ordenado de pensar e investigar, formando um conjunto de procedimentos que permitem alcançar a verdade científica. Assim, o método científico conduz o estudo ao encontro de seus objetivos, facilitando a apresentação do problema científico que a pesquisa pretende investigar, bem como a comprovação (ou refutação) das hipóteses propostas por ela.

Este capítulo se compromete com a apresentação das operações utilizadas no desenvolvimento do trabalho para alcance dos resultados, tendo como base os objetivos definidos.

#### 3.1 Tipo de Pesquisa

Várias são as definições para pesquisa. Ainda não existe um consenso comum entre os estudiosos para tal conceito, uma vez que é relativo perante à perspectiva (MARCONI e LAKATOS, 2018). Ferreira (1995, p. 502), por exemplo, refere-se ao conceito como sendo a “busca minuciosa para averiguação da realidade; investigação e estudo, minudentes e sistemáticos, com o fim de descobrir ou estabelecer fatos ou princípios relativos a um campo qualquer do conhecimento”.

Diante de uma perspectiva ainda mais específica, Marconi e Lakatos *apud* Ander-Egg (2018, p. 1) definem pesquisa como “procedimento reflexivo sistemático, controlado e crítico, que permite descobrir novos fatos ou dados, relações ou leis, em qualquer campo do conhecimento”. É fato que a pesquisa possui fundamental importância no campo das ciências para obtenção de soluções.

De um modo geral, o objetivo da pesquisa consiste no conhecimento, explicação e compreensão dos fenômenos. Dentre as diversas abordagens apresentadas por Marconi e Lakatos (2018), a que mais se destaca e se aplica ao trabalho é aquela que se refere à finalidade da pesquisa como em “descobrir respostas para as questões, mediante a aplicação de métodos científicos” (MARCONI E LAKATOS *apud* Selltiz *et al.*, 2018, p. 2).

Ao rotular um projeto de pesquisa, o pesquisador consegue conferir maior racionalidade às etapas requeridas na execução. Para isso, então, é necessário fazer com que essa rotulação seja feita de acordo com um sistema de classificação. “A tendência à classificação é uma característica da racionalidade humana” (GIL, 2018, p. 24). Gil (2018, p. 24) ainda defende que “cada pesquisa é naturalmente diferente de qualquer outra. Daí a necessidade de previsão e provisão de recursos de acordo com a sua especificidade”.

Os principais tipos e classificação de pesquisa em uma metodologia científica de projeto são em relação à forma de abordagem, aos objetivos e aos procedimentos técnicos.

Quanto à forma de abordagem, Sampieri *et al.* (2013) também tratam tal classificação como enfoques da pesquisa, estes podendo ser qualitativo, quantitativo ou misto. A Figura 29 apresenta as características, processos e benefícios de cada um dos três tópicos mencionados anteriormente:

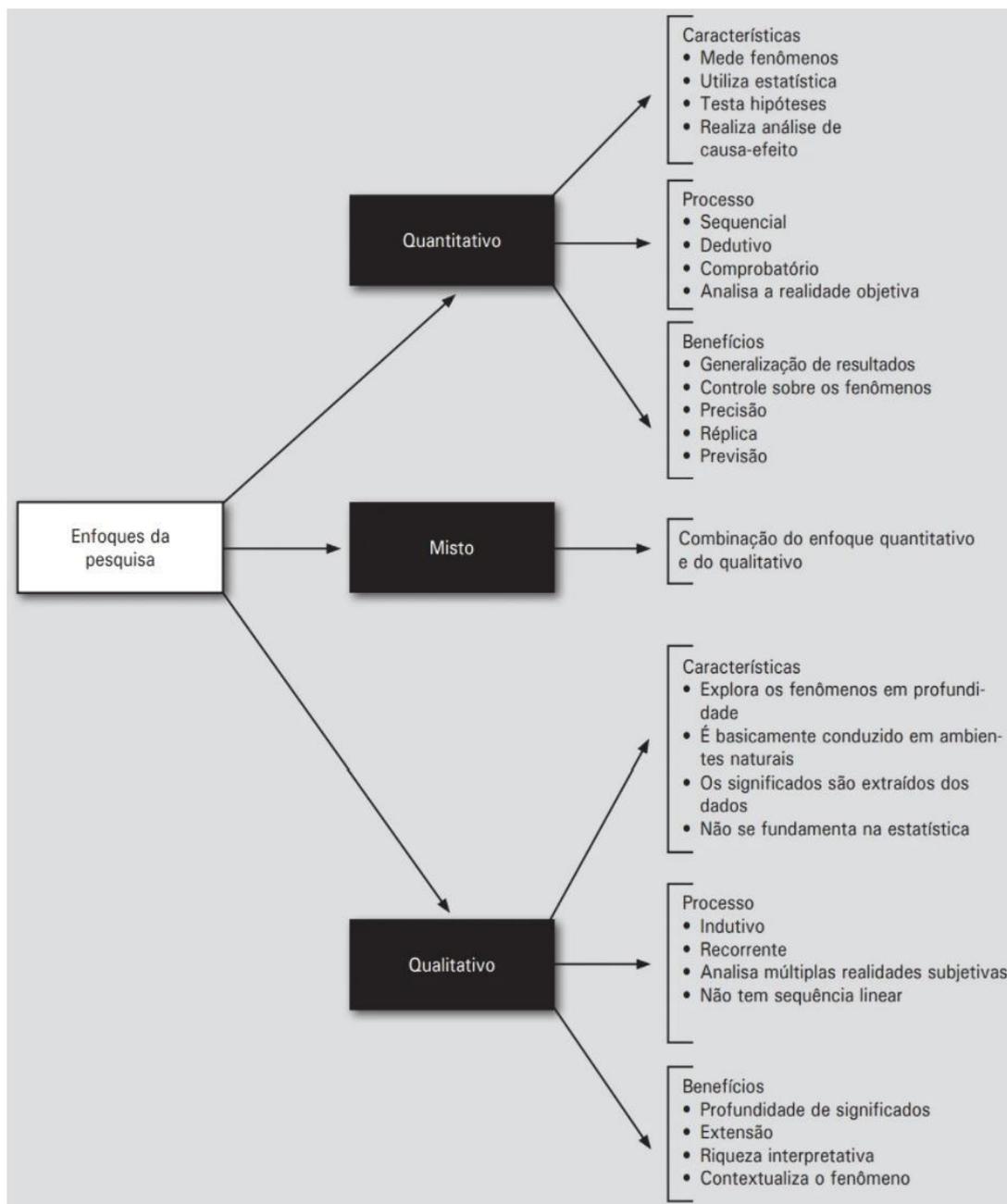


Figura 29: Enfoques da Pesquisa.  
 Fonte: Sampieri *et al.* (2013, p. 29).

Sampieri *et al.* (2013, p. 30) ainda salientam que o “enfoque quantitativo utiliza a coleta de dados para testar hipóteses, baseando-se na medição numérica e na análise estatística para estabelecer padrões e comprovar teorias”. Já para o enfoque qualitativo, a coleta de dados é usada sem medição numérica para o processo de interpretação (SAMPIERI *et al.*, 2013). A pesquisa mista, por sua vez, se caracteriza pela combinação do enfoque quantitativo e qualitativo. A título deste trabalho será considerada a pesquisa mista.

Frente à classificação em relação aos objetivos, Gil (2018) também se refere à esta como classificação das pesquisas segundo seus propósitos mais gerais. O autor classifica as pesquisas em relação aos objetivos mais gerais, ou propósitos, em: exploratórias, descritivas e explicativas. Este trabalho se dedica à pesquisa do tipo exploratória.

Gil *apud* Selltiz *et al.* (2018, p. 26) apresenta uma abordagem relevante para tal pesquisa:

As pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Seu planejamento tende a ser bastante flexível, pois interessa considerar os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado. A coleta de dados pode ocorrer de diversas maneiras, mas geralmente envolve: 1. levantamento bibliográfico; 2. entrevistas com pessoas que tiveram experiência prática com o assunto; e 3. análise de exemplos que estimulem a compreensão.

É possível afirmar que grande parte das pesquisas realizadas para finalidades acadêmicas possuem o caráter exploratório, já que o pesquisador não tem uma definição clara do que será investigado (GIL, 2018).

Uma classificação ainda bastante relevante para as pesquisas é aquela referente aos procedimentos técnicos. Diversas modalidades são destacadas para tal classificação, tais como pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental, estudo de caso, pesquisa-ação, pesquisa participante, entre outras. Este trabalho aborda, para a classificação em questão, as pesquisas bibliográfica, documental e estudo de caso, que são apresentadas brevemente a seguir.

“A pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado. Tradicionalmente, esta modalidade de pesquisa inclui material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos” (GIL, 2018, p. 28). Tal modalidade é notável em praticamente toda pesquisa acadêmica, uma vez que estas requerem sua realização em alguma parte do trabalho (GIL, 2018).

A pesquisa documental apresenta delineamentos semelhantes com a pesquisa bibliográfica, uma vez que ambas recorrem ao uso de dados já existentes. O que as difere é, principalmente, a natureza das fontes. Enquanto a pesquisa bibliográfica recorre à materiais elaborados por autores com objetivos específicos e à públicos específicos, a pesquisa documental abrange documentos em geral, com finalidades diversas, tais como autorização, assentamento, comunicação, dentre outros (GIL, 2018).

Por fim, a modalidade estudo de caso é aquela que “consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos casos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento; tarefa praticamente impossível mediante outros delineamentos já considerados” (GIL, 2018, p. 34). Ainda de acordo com o autor, os principais propósitos de tal pesquisa são:

- explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos;
- preservar o caráter unitário do objeto estudado;
- descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação;
- formular hipóteses ou desenvolver teorias;
- explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas que não possibilitam a utilização de levantamentos e experimentos.

### **3.2 Materiais e Métodos**

Para o desenvolvimento da pesquisa e estudo em questão, recorreu-se, principalmente, ao uso de materiais já publicados, tais como sites, notícias, jornais, revistas, livros, teses, dissertações, artigos e outros documentos científicos, que possuem credibilidade para suportar os assuntos abordados. A exploração e investigação de eventos do mundo real, também foi definida como ferramenta. Tais conteúdos foram utilizados no intuito de fornecer embasamento e argumentação suficiente para formação de opinião técnica a respeito do tema.

A partir dos recursos mencionados, o procedimento sequenciou-se na direção da formulação do problema, definição dos objetivos, revisão bibliográfica, análise da fundamentação teórica relacionada ao contexto em que o tema se insere, exploração e análise de opções existentes ao sistema de propulsão, discussão e resultados com base nas informações obtidas, sugestões de melhoria e conclusão. Todas etapas considerando o cenário atual da transição na indústria automotiva e as diretrizes que as alternativas podem traçar.

### **3.3 Variáveis e Indicadores**

De um modo geral, variável é algo “sujeito a variações, mudável, incerto, instável, inconstante. [...] Que pode apresentar diversos valores distintos. [...] Que pode ter ou assumir diferentes valores, diferentes aspectos, segundo os casos particulares ou segundo as circunstâncias” (FERREIRA, 1995, p. 665).

Diante de uma perspectiva pouco mais metodologicamente fundamentada em ciência, Marconi e Lakatos *apud* Sampieri *et al.* (2021, p. 161) abordam a definição de variável como “propriedade que pode oscilar e cuja variação pode ser medida e observada. [...] As variáveis adquirem valor para a pesquisa científica quando conseguem se relacionar com outras variáveis, ou seja, se fazem parte de uma hipótese ou uma teoria”.

Para se mensurar as variáveis, faz-se necessário o uso de referências para um embasamento mais concreto. Os indicadores podem ser tidos como tais referências. Indicadores são algo específico e concreto que possuem certa representatividade (MARCONI e LAKATOS, 2018). É aquilo que indica.

De acordo com o estudo ou medição de cada variável, existem indicadores que são definidos em relação aos propósitos da pesquisa, podendo ser classificados em quantitativos e qualitativos (MARCONI e LAKATOS, 2018). A Tabela 11 destaca as variáveis e indicadores desta pesquisa:

Tabela 11: Variáveis e Indicadores.

Variáveis	Indicadores
Transição na indústria automotiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas e programas ambientais;</li> <li>• Questão energética e o uso da energia;</li> <li>• Interesses políticos, econômicos, tecnológicos e sociais;</li> <li>• Iniciativas e motivações das empresas automobilísticas;</li> <li>• Alternativas mais sustentáveis para o sistema de propulsão;</li> <li>• Tecnologia, pesquisa e inovação aplicadas à mobilidade elétrica.</li> </ul>
Impactos da combustão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissão de poluentes;</li> <li>• Efeito estufa;</li> <li>• Problemas ambientais;</li> <li>• Uso de combustíveis não-renováveis;</li> <li>• Desenvolvimento não-sustentável.</li> </ul>
Principal opção para substituição da frota a combustão: tendência à mobilidade elétrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo elevado de um veículo elétrico;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas governamentais não acompanham o progresso industrial;</li> <li>• Ausência do uso da sustentabilidade para fabricação dos veículos elétricos;</li> <li>• Questão energética e uso da energia;</li> <li>• Tempo de espera para recarga de veículos elétricos;</li> <li>• Perfis de condutores não aplicados à autonomia dos veículos elétricos;</li> <li>• Conservadorismo de alguns condutores de veículos a combustão;</li> <li>• Finalidade à frota a combustão;</li> <li>• Finalidade à estrutura dos veículos a combustão;</li> <li>• Limitações em geral.</li> </ul>
Futuro da indústria automotiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisão e análise crítica dos desafios e perspectivas da transição na indústria automotiva;</li> <li>• Opinião técnica e sugestão de melhorias para as alternativas em relação à custos, infraestrutura e comportamentos.</li> </ul>

Fonte: Pesquisa Direta (2021).

Observa-se que na Tabela 11, que as definições e objetivos apresentados no trabalho são considerados.

### 3.4 Instrumento de Coleta de Dados

Instrumento de coleta de dados refere-se à obtenção de informações relacionadas ao tema apresentado a fim de adquirir embasamento suficiente para o estudo. Consistem em técnicas necessárias em uma área específica para conhecer o problema e chegar na solução.

Conforme mencionado anteriormente, neste mesmo capítulo, a pesquisa em questão é de natureza bibliográfica, documental, de estudo de caso, mista e exploratória, que recorre às técnicas de observação direta, análise documental e grupo focal.

### **3.5 Tabulação dos Dados**

Este trabalho recorre ao uso do *software Microsoft Word*. O *Microsoft Word* é empregado para relatar, apresentar, descrever, discutir e organizar os resultados obtidos no estudo.

### **3.6 Considerações Finais do Capítulo**

O capítulo em questão dedicou-se à apresentação da metodologia, destacando os tipos e classificações das pesquisas, ferramentas, métodos, materiais e procedimentos utilizados para concretização do estudo. As definições, propostas e itens selecionados, encontram-se alinhados com os objetivos listados neste trabalho.

O capítulo seguinte abordará as análises dos resultados obtidos com base na metodologia e contextualização anterior e discorrerá da discussão sobre os mesmos.

## 4 RESULTADOS

O contexto em que a transição na indústria automotiva se insere, diante de uma perspectiva crítica sobre a gestão do uso de energia, cria um cenário contraditório, em que os objetivos e propostas iniciais para evolução da mobilidade não se encontram mais alinhados, e onde os interesses econômicos e políticos se sobressaem perante os planejamentos. O princípio para se alcançar uma mobilidade mais inclusiva e viável para a sociedade, encontra-se na análise da aplicabilidade das alternativas para cada condutor, e não, na imposição de uma nova tecnologia para todos.

Ainda nos dias de hoje, existem indivíduos que preferem e recorrem ao uso dos cavalos, por exemplo, como forma de transporte. Seja tal decisão feita por fatores culturais ou econômicos, o fato é que não se pode impor uma nova forma de transporte que não seja acessível e inclusiva.

Wedeniwski (2015) menciona em sua obra, a resistência da sociedade da época diante da substituição dos cavalos e carruagens pelo automóvel moderno, idealizado por Carl Benz em 1886. O receio sobre o funcionamento propício daquela tecnologia, a falta de estrutura em torno daquela inovação, o elevado custo daquele automóvel, isto é, todos fatores semelhantes à mesma realidade vivenciada hoje, em relação à atual transição na indústria automotiva. Muitos estudiosos consideram a resistência do final do século XIX como absurda, em uma análise isolada. Estaria a sociedade atual resistindo à uma nova mudança que também será considerada, por alguns, absurda no futuro?

A questão é que a indústria automotiva atual vem oferecendo alternativas de melhoria que requerem maior atenção e precisam ser mais exploradas, antes que a mobilidade elétrica seja forçada e imposta. Alternativas essas, muitas vezes, mais eficientes que os desdobramentos que os automóveis elétricos vêm causando.

A análise da origem energética para alimentar um veículo elétrico, por exemplo, não justifica o rumo que a transição na indústria automotiva vem seguindo. A matriz elétrica mundial é, em sua maioria, dependente de fontes não renováveis de energia, como carvão mineral, petróleo, gás natural e material nuclear; ainda assim, fortes crises energéticas são vivenciadas em diferentes regiões do mundo, principalmente em áreas que migraram para o uso das energias renováveis limpas, já que essas são sazonais e dependentes de condições naturais (CBIE, 2021). Além disso, as baterias usadas nos veículos elétricos causam grandes impactos ambientais. Defender a ideia de sustentabilidade relacionada com veículos elétricos, não possui

fundamento algum diante da maneira como está sendo direcionada. E, por mais que exista recorrência ao uso de fontes renováveis de energia, haverá ainda, mesmo que mínima, uma dependência indireta de fontes não renováveis de energia.

O posicionamento não é contra a mobilidade elétrica, mas sim, contra a maneira em que esta vem sendo conduzida diante da perspectiva cultural, econômica, energética, política e social. O que é defendido, então, é a exploração das diversas alternativas existentes para a mobilidade – inclusive elétrica – e aplicabilidade de acordo com a condição de cada condutor.

#### **4.1 Perspectivas Para Automóveis Elétricos**

A direção da transição na indústria automotiva, no sentido da substituição total por veículos elétricos, precisa ser revisada e reestruturada. Apesar de ser uma tecnologia que conta com inúmeras vantagens, ainda existem desafios a serem enfrentados e algumas perspectivas podem colaborar para contornar tais limitações. Dentre as limitações mais evidentes estariam, conforme citado na introdução deste trabalho, o valor; o destino da frota a combustão; o conservadorismo de muitos usuários; a autonomia, o descarte e as atividades de mineração para produção das baterias; o tempo de recarga; a disponibilidade de pontos de recarga; a infraestrutura necessária para atender à demanda; a dependência do apoio público e do poder do Estado em geral; o elevado nível de emissões de CO<sub>2</sub> na fabricação das baterias; e a origem da energia elétrica que irá alimentar tais veículos.

##### **4.1.1 Postos de Combustíveis Como Centros e Estações Para Baterias Recarregadas**

A utilização da maior rede atual de abastecimento para os veículos a combustão, que já se encontra pronta, estruturada e amplamente distribuída em qualquer região do mundo, pode receber adaptações para atender à nova frota elétrica.

O princípio de tal ideia partiria da percepção de que os postos de combustíveis, também fossem estruturados como centros e estações para recarga e troca de baterias. Porém, tal recarga não seria iniciada no momento em que o condutor chegasse no posto (centro e estação para baterias recarregadas) – como acontece atualmente nos pontos de recarga para veículos elétricos – e sim, antes da chegada do condutor no local, a partir do uso de baterias reservas. Isto é, haveria uma simples substituição de uma bateria descarregada – do veículo do condutor – por uma bateria totalmente carregada – disponível nos centros e estações para baterias recarregadas – os postos de combustíveis atuais.

Esses postos de combustíveis passariam, então, a possuir várias baterias reservas, de acordo com os modelos existentes no mercado, mantendo um estoque compatível para atender os clientes; e se responsabilizariam por garantir a qualidade das baterias recebidas para recarga e das entregues para os condutores, no sentido de manter o bom funcionamento dessa cadeia. Essas baterias reservas estariam 100% recarregadas e seriam trocadas pelas descarregadas, no momento em que os condutores chegassem nos postos (centro e estação para baterias recarregadas). O condutor pagaria, então, pela energia gasta para recarregar tal bateria e pelo serviço necessário para todo esse processo.

Em resumo e exemplificando: o condutor que possui um veículo elétrico está com a bateria deste prestes a descarregar. O mesmo se dirige, então, a um posto de combustível (proposto, também, como centro e estação para baterias recarregadas). Chegando lá, ele encontrará uma bateria totalmente recarregada e compatível com a do seu veículo. Algum funcionário do posto de combustível – centro e estação para baterias recarregadas – irá trocar a bateria do veículo, que está descarregada, por uma 100% recarregada. O condutor pagaria pela energia gasta para a recarga e pelo serviço. O funcionário, então, iria pegar a bateria, agora descarregada, e a colocaria para carregar e, assim, atender um novo condutor.

Os postos de combustíveis se estruturariam para recarregar baterias constantemente, se responsabilizariam por manterem e verificarem o estado de tais baterias e se capacitariam para a troca de baterias descarregadas por baterias recarregadas. Além disso, receberiam por tal serviço.

Para tal proposta, a indústria automotiva teria que se comprometer com uma padronização setorializada de produção de baterias, de modo a reduzir a quantidade de modelos existentes no mercado e otimizar o processo para os centros e estações para baterias recarregadas. Mais importante que isso, essa indústria teria, também, que se comprometer com o desenvolvimento de um projeto para a bateria do veículo elétrico, de modo a facilitar e otimizar a troca de tal componente, bem como propor os equipamentos necessários para que essa concepção funcione como esperado.

As vantagens, limitações contornadas e perspectivas alcançadas com essa alternativa são várias, a destacar:

- Aproveitamento de certos atributos defendidos em lei, que regulamentam a estruturação geral de uma área de abastecimento, como, por exemplo, aqueles relacionados ao acesso aos postos de combustíveis (nesse caso, centros e

estações para baterias recarregadas); distribuição dessas redes de acordo com uma distância mínima e máxima entre eles e outros fatores importantes que devem ser juridicamente adequados para essas instalações;

- Considerável e enorme redução do tempo de espera para recarga total de um veículo elétrico – com a nova proposta, o tempo de espera seria reduzido para algo em torno de 10 minutos, que é o tempo necessário para substituir uma bateria descarregada por uma totalmente carregada, dentro das condições mencionadas. Isso, comparado ao menor tempo de espera para a recarga completa de qualquer bateria de veículo elétrico, nas condições atuais, representa um ganho importante;
- Dispensa da necessidade de instalações elétricas residenciais de alta tecnologia para abastecimento dos veículos elétricos durante determinados períodos do dia;
- Disponibilidade e distribuição dos pontos de recarga – construída como consequência da utilização da maior rede de abastecimento do mundo, que já se encontra pronta, estruturada e amplamente distribuída em qualquer região;
- Minimização das perdas e prejuízos dos postos de combustíveis – havendo uma substituição completa na indústria automotiva por veículos elétricos, a falência e perda de infraestrutura de vários postos de combustíveis seria uma consequência direta. A partir da perspectiva de combinar postos de combustíveis com centros e estações de recarga para veículos elétricos, essas organizações poderiam se estruturar melhor no sentido de se manterem com sucesso no setor de abastecimento, seja a partir de combustíveis derivados do petróleo, etanol, hidrogênio ou eletricidade;
- Simplificação da infraestrutura necessária em torno da nova tecnologia para atender à demanda – recorrer à utilização dos postos de combustíveis, como estrutura pronta e amplamente distribuída em qualquer região do mundo, irá reduzir os esforços e simplificar a criação de toda uma nova estrutura para atender à demanda dos veículos elétricos. Estrutura tal que é dependente de vários fatores econômicos, políticos e sociais.

#### **4.1.2 Conversão de Automóveis a Combustão em Elétricos**

É possível converter um veículo a combustão em elétrico e, para isso, se faz necessário trocar os componentes de motorização utilizados em veículos a combustão, por seus

equivalentes em um veículo elétrico (SOUZA, 2018). Já existem *kits* de conversão que permitem a transformação e, também, empresas dedicadas para tal adaptação. Tal mercado ainda é incipiente, porém mundialmente promissor. Destacam-se como vantagens, limitações contornadas e perspectivas alcançadas com tal alternativa, o que é pontuado a seguir:

- Aproveitamentos dos benefícios dos veículos elétricos, com menor custo;
- Destino da frota a combustão – a partir da conversão de um veículo a combustão em elétrico, o número de componentes e estruturas aproveitadas são maiores e, conseqüentemente, haverá uma redução daqueles que serão descartados;
- Diferença considerável de custo entre um veículo elétrico de fábrica e um veículo convertido – de acordo com a SUMMIT MOBILIDADE URBANA (2021), a Electro de Minas Gerais (empresa de conversões com homologações) calcula um custo em torno de R\$ 57.000,00 para a conversão completa de um carro a combustão em elétrico, incluindo projeto, *kit*, mão-de-obra e licenciamento. Considerando que o condutor e usuário já possua um veículo a combustão, e tenha o planejamento de migrar para o veículo elétrico, e comparando ao preço de R\$ 161.114,00 (FIPE, 2021) do JAC iEV20 – carro elétrico mais barato no país (MATSUBARA, 2021), o ganho financeiro com a conversão é significativo e muito viável e, dessa maneira, merece ser mais explorado;
- Redução das perdas (principalmente financeira) que o condutor precisará enfrentar no descarte de seu veículo a combustão, caso a mobilidade elétrica venha a ser uma imposição.

Para realizar a conversão algumas etapas merecem ser destacadas, a citar a escolha da voltagem, escolha da bateria, controladores, conversores, contator, entre outros. Além disso, converter um veículo a combustão em elétrico é um processo ainda burocrático. Qualquer veículo que sofra alteração em suas características originais precisa de uma autorização do Detran – Departamento Estadual de Trânsito, de acordo com o artigo 3º da Resolução do Contran – Conselho Nacional de Trânsito (SOUZA, 2018). Após modificações, é necessário, então, inspeção veicular para obtenção do Certificado de Segurança Veicular (CSV) e, além disso, um veículo elétrico convertido precisa ter um Certificado de Adequação à Legislação de Trânsito (CAT) para homologação do veículo, segundo o artigo 2º da Portaria 190/09 do Denatran – Departamento Nacional de Trânsito (SOUZA, 2018).

### 4.1.3 Geração Isolada e Própria de Energia Elétrica

A transição da indústria automotiva direcionada para imposição dos veículos elétricos se depara, além de outras barreiras já mencionadas e ainda não solucionadas, com a limitação da geração, abastecimento, distribuição, fornecimento e transmissão de energia elétrica. A realidade entrega evidências claras dessa insuficiência e, conforme estudos já publicados acerca do assunto, as fortes crises energéticas encontram-se concentradas em regiões que migraram para o uso das energias renováveis limpas, já que essas são sazonais e dependentes de condições naturais (CBIE, 2021).

A questão que deve ser analisada é que aumentando a frota dos veículos elétricos, obviamente, aumentará, também, a demanda por energia elétrica. Isto é, aumentará a demanda por um recurso que já se encontra escasso em certas regiões do mundo e em determinados períodos. Aumentará a demanda por um recurso que sofre com extremos desperdícios e perdas por transmissão – no Brasil em torno de 20% da energia gerada é desperdiçada pela transmissão da fonte para o consumidor final, por exemplo. E é justamente diante desse cenário, que se tem buscado alternativas capazes de mitigar as limitações, perdas e criar soluções para otimização do abastecimento de energia elétrica. Dentre tais alternativas, a que mais vem ganhando importância é a geração isolada e própria de energia elétrica.

Tão fundamental é a alternativa, que já ganhou espaço no cenário jurídico e político, com a oficialização da Lei nº 14.300 de 06/01/2022, que “institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS)” (SENADO FEDERAL, 2022, p. única). Tal proposta incentiva a adoção por veículos elétricos e otimiza a gestão do uso da energia elétrica, por representar:

- Diminuição no desperdício de energia elétrica ocasionado por transmissão – havendo microgeração e minigeração, o percurso para distribuição de energia é significativamente reduzido e, conseqüentemente, as perdas por transmissão também;
- Redução do investimento para criação de uma infraestrutura robusta suficiente para atender a frota elétrica do futuro;
- Redução do custo com energia elétrica para o usuário do veículo elétrico;
- Redução da dependência no abastecimento de energia elétrica;
- Liberdade para definir a fonte de energia a ser utilizada.



Figura 30: Microgeração de Energia Elétrica.  
Fonte: MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA (2017).

Claro que os benefícios mencionados acima não se aplicam apenas à finalidade de veículos elétricos, mas também, para a esfera geral de energia.

Ademais, já existe um exemplo prático que relaciona perfeitamente a microgeração e minigeração de energia elétrica com a aplicabilidade direta em veículos elétricos: instalação de painéis fotovoltaicos em veículos elétricos, como ilustrado pela Figura 31.



Figura 31: Carro solar.  
Fonte: ESTADÃO (2014).

A ilustração da Figura 31, exemplifica a praticidade da microgeração nos veículos do futuro.

#### 4.1.4 Flexibilidade da Fonte de Propulsão

A fonte de propulsão para os veículos elétricos se resume na matriz elétrica, isto é, fonte de energia utilizada para produção de eletricidade. Essa fonte de energia, quando comparada aos veículos a combustão, se apresenta mais flexível, uma vez que existem mais recursos para se gerar energia elétrica. Além das evidentes vantagens dos veículos elétricos, já mencionadas anteriormente, também merece destaque o que se apresenta como promissor, em se tratando do contexto da gestão do uso da energia, relacionado com as perspectivas proporcionadas pelos veículos elétricos:

- Flexibilidade da matriz elétrica destinada à propulsão dos veículos elétricos;
- Redução da dependência do petróleo como fonte energética para propulsão;
- Implementação da matriz elétrica de acordo com a disponibilidade das reservas;
- Implementação da matriz elétrica de acordo com a política de cada região;
- Aumento da longevidade das fontes não renováveis de energia, uma vez que é possível balancear e equilibrar a exploração das matrizes, poupando aquelas não renováveis.

Vale destacar que essa fonte de propulsão (matriz elétrica) deve ser definida de tal modo que justifique o uso do veículo elétrico. Recorrer à uma matriz elétrica que, na cadeia geral, ocasione mais impactos, perdas e prejuízos que os veículos a combustão (que ocorre em muitas situações), não é compatível com a tratativa que vem sendo dada para essa tecnologia.

#### **4.1.5 O Estado Como um Aliado**

O setor de transporte possui grande representatividade na composição de qualquer Estado, seja relacionado à movimentação de pessoas ou na movimentação de cargas. A boa compreensão da matriz de transportes de uma estrutura é fundamental para o desenvolvimento de políticas públicas, uma vez que se trata de um setor de alta demanda energética, grande impacto ambiental e propulsor de diversas externalidades.

A tendência de transição na indústria automotiva para veículos elétricos é um fenômeno que requer – além das alternativas, boas práticas e perspectivas já mencionadas – apoio, atuação, incentivo e investimento das iniciativas públicas para o desenvolvimento do setor. Existem certas ações – como o fornecimento de energia para alimentação dos veículos elétricos e infraestrutura necessária para sustentar a nova tecnologia – que não são dependentes apenas da atuação da indústria automotiva, mas sim, do alinhamento e união dos esforços desta com o Estado e fornecedores de energia.

O cenário ideal seria uma reestruturação do sistema energético e planejamento de políticas para atender às perspectivas das alternativas dos veículos elétricos e, então, alcançar uma mobilidade acessível e inclusiva diante dessa possibilidade. Para que os veículos totalmente elétricos cumpram com sua promessa de mobilidade mais limpa, é necessário que governos e empresas de energia em todo mundo aumentem seus investimentos em capacidade de energia limpa e infraestrutura de carregamento relacionada.

#### **4.1.6 Aplicabilidade da Mobilidade Elétrica Relacionada ao Condutor**

A princípio, muitos estudiosos defendem o uso dos veículos elétricos com melhor aplicabilidade limitada para uso urbano, transporte público controlado e baixas quilometragens. Tal visão devido, principalmente à autonomia e tempo de recarga para esses veículos. Situação essa que é realidade no contexto mundial, salvo algumas exceções. Porém, a partir das perspectivas e sugestões discutidas nos subtópicos do item 4.1, muitas das barreiras oferecidas pelos veículos elétricos podem ser superadas, fazendo com que a nova tecnologia se torne mais

acessível, aplicável, difundida e viável para um número consideravelmente maior de condutores.

## 4.2 Perspectivas Para Automóveis a Combustão

A perspectiva de desconsiderar os veículos a combustão frente à tendência da imposição da nova tecnologia dos veículos elétricos, talvez não seja a melhor opção, considerando o cenário atual, para se atingir os propósitos iniciais desenhados pela transição na indústria automotiva. A opção de subestimar e substituir completamente um modelo que atendeu, por mais de um século, e ainda atende às necessidades da mobilidade humana, não pode ser tomada de maneira absoluta. A questão é que ainda há muita possibilidade de melhoria para esses veículos e as inovações e metas vêm se mostrando muito promissoras.

Para tal cenário é defendido, então, um maior aprofundamento e exploração das alternativas e tecnologias em motores de combustão interna e um alinhamento dessas ações com os propósitos da transição, a destacar:

- Busca pelo aumento da eficiência dos motores de combustão interna, conforme, por exemplo, proposta do motor V6 1.6 litros turbo da Mercedes-AMG – que atinge eficiência superior a 50% em condições de trabalho específicas;
- Desenvolvimento de combustíveis mais eficientes e sustentáveis, segundo comprometimento da Fórmula 1 para disponibilizar um combustível 100% sustentável, que poderá ser também usado nos veículos convencionais, sem que estes necessitem de qualquer modificação;
- Refinamento do projeto de motores de combustão interna;
- Proposta de tratamento acústico da chama de combustão;
- Recorrência ao uso de biocombustíveis para propulsão de veículos a combustão – com destaque para o protagonismo do etanol;
- Implementação de limites e tolerâncias, um pouco mais estreitas e rigorosas, para emissão de poluentes, impactos e prejuízos ambientais ocasionados pelo uso dos veículos a combustão, considerando todo o seu ciclo de vida e comparando-o com os veículos elétricos para, então, ser definido um nível aceitável por esses impactos.

As propostas brevemente apresentadas acima, foram individualmente mais bem detalhadas nos subtópicos do item 2.4.1.6. Tais alternativas e tecnologias, se comparadas com

as condições e desdobramentos atuais da mobilidade elétrica, podem gerar resultados ainda mais efetivos ao analisar os gatilhos que incentivaram o início da transição na indústria automotiva, e, também, algumas dessas, por se tratar de recursos renováveis, permitindo, assim, alinhar a sustentabilidade frente ao melhor aproveitamento dos recursos energéticos.

Vale ressaltar, novamente, a questão de matriz elétrica – origem das fontes de energia para eletricidade – atualmente utilizadas para alimentar os veículos elétricos e as perdas existentes na transmissão do recurso até o usuário final. Muitas vezes, não se faz uma comparação crítica de tal relação no que tange ao consumo total, custo, sustentabilidade, transmissão e outros fatores relevantes para a análise.

Diante do exposto, a imposição prática dessas alternativas e tecnologias vão contornar e minimizar algumas das limitações, restrições e motivos pelo qual inicialmente se desencadeou a transição na indústria automotiva, no sentido da extinção dos veículos a combustão:

- Alocação e aplicabilidade de investimentos para melhoria de uma estrutura de abastecimento, estudo e tecnologia já existente;
- Redução da emissão de poluentes, a partir do uso de combustíveis mais sustentáveis e projetos mecânicos mais eficazes;
- Melhoria da eficiência dos motores de combustão interna;
- Manutenção de toda infraestrutura existente em torno da mobilidade a combustão.

Em resumo, a permanência dos veículos a combustão como uma alternativa adicional para a transição na indústria automotiva, aliada às novas tecnologias de veículos elétricos, híbridos e *fuel cell*, é vantajosa para o processo em si, pois:

- Desempenham devidamente sua função primária – movimentação e transporte (de carga ou pessoas);
- Satisfazem uma parcela muito significativa dos usuários;
- São aptos à melhoria, seja de desempenho, eficiência ou sustentabilidade – conforme propostas apresentadas;
- Possuem recurso para geração da propulsão – o petróleo – com longevidade considerável – e esta longevidade pode ainda aumentar se o uso dos veículos elétricos for executado corretamente, isto é, utilizando as fontes ideais para se produzir energia elétrica;
- Possuem estrutura sólida para auxiliar os condutores;

- Em certas situações, são menos prejudiciais que as alternativas elétricas e *fuel cell*.

Ainda não existe uma estrutura completa capaz de atender às necessidades dos veículos elétricos, híbridos ou *fuel cell*, deixando a mobilidade, em várias situações, submissa aos veículos a combustão como alternativa.

Mesmo que o custo de abastecimento por quilometro seja significativamente inferior para os automóveis elétricos em comparação aos automóveis a combustão, há de se considerar nessa análise os valores de venda do automóvel elétrico e do automóvel a combustão, de modo a verificar a compensação financeira. O carro elétrico mais barato do Brasil é o JAC iEV20 (MATSUBARA, 2021), que possui versão inicial custando R\$ 161.114,00 (FIPE, 2021); o carro a combustão mais barato é o Fiat Mobi Easy 1.0 (VILLAÇA, 2021), com versão inicial custando R\$ 42.077,00 (FIPE, 2021); isto é, uma representatividade de R\$ 119.037,00 mais caro para o carro elétrico. Considerando, a partir da Tabela 8, a economia de R\$ 9.037,50 a cada 15.000 km percorridos com o carro elétrico em comparação com o carro a combustão, seria necessário rodar aproximadamente 197.000 km com o carro elétrico para se obter uma compensação financeira dentro das condições detalhadas acima, o que, em certas circunstâncias, não chega a representar a vida útil dos automóveis elétricos.

O aprofundamento e atual foco da imposição dos veículos elétricos, em muitos casos, coloca o avanço dos veículos a combustão em estagnação. Por mais que seja defendido, em certos contextos, que os veículos a combustão já atingiram o nível máximo de evolução, é notável a existência de alternativas eficazes que também colaboram para equilibrar o uso dos recursos energéticos e aumentar a longevidade de algumas fontes.

A impressão superficial que os veículos elétricos entregam, é desmistificada quando o ciclo de vida desses veículos e a matriz elétrica para abastecê-los é analisada criticamente. Muitos enxergam apenas a simples ação de conectar o carregador dos seus veículos na tomada, recarregá-los e poderem usufruir dessa facilidade novamente, mas não estão sendo críticos, suficientemente, para analisar e entender a origem dessa eletricidade e como ela está chegando nos pontos de recarga. A conclusão imediata é que os veículos elétricos, por mais que apresentem grandes vantagens, não atendem às justificativas divulgadas. Estudos, como o apresentado pela Volvo e mencionado no item 2.6, ilustram claramente a capacidade poluidora dos veículos elétricos, que podem emitir até 70% mais gases poluentes que veículos convencionais em determinadas condições.

### 4.3 Perspectivas Para Automóveis Híbridos

Frente às barreiras, desafios e limitações que os automóveis a combustão e elétricos encaram, os automóveis híbridos apresentam-se como alternativa chave para contorná-las, uma vez que são capazes de explorar as vantagens da propulsão a combustão e propulsão elétrica – ambas existentes nos automóveis híbridos.

Obviamente, por mais que com o uso dos automóveis híbridos seja possível desviar de algumas barreiras enfrentadas e existentes para os motores a combustão e elétricos, haverá as situações em que isso não será sempre possível e, então, irá se esbarrar nas limitações. A grande vantagem é a possibilidade de balancear e equilibrar os recursos e o uso desses veículos, de acordo com a consciência e necessidade do condutor e, também, de acordo com a disponibilidade das fontes de propulsão, garantindo, assim, maior autonomia, conforto e praticidade na mobilidade.

Por se estruturar como uma união do motor a combustão e elétrico, os veículos híbridos talvez tivessem que ser mais explorados e serem definidos como uma etapa intermediária da transição na indústria automotiva, de forma a se analisar o cenário geral desse fenômeno e o comportamento de todas as partes envolvidas nele para, então, se planejar melhor para as perspectivas futuras na indústria automotiva.

### 4.4 Perspectivas Para Automóveis Movidos a Hidrogênio (*fuel cell*)

Uma análise superficial sobre os veículos a hidrogênio (*fuel cell*), definiria essa alternativa como a mais promissora para o futuro da indústria automotiva, uma vez que o hidrogênio ( $H_2$ ), como combustível, atenderia às proposições que desencadearam essa transição, por apresentar características como:

- Ser o elemento mais abundante do universo;
- Ser ecológico, isto é, não gerar poluentes diretamente pelo seu uso – a reação química envolvendo hidrogênio ( $H_2$ ) e oxigênio atmosférico ( $O_2$ ) tem como produto água ( $H_2O$ ), energia e calor;
- Ter densidade energética elevada – o que significa capacidade de armazenar uma altíssima quantidade de energia por unidade de massa.

O principal entrave para tal prosperidade é que o hidrogênio dificilmente é encontrado em sua forma pura  $H_2$ , para então ser usado como combustível, a partir da combinação com o oxigênio do ar atmosférico na célula de combustível. Os principais compostos em que o

hidrogênio é encontrado são água ( $H_2O$ ) e metano ( $CH_4$ ) e, para obter o hidrogênio puro a partir de tais compostos, é necessária uma quantidade alta de energia para o processo, adquirida através de combustíveis fósseis, biomassa e eletrólise da água. O ponto chave é que o hidrogênio produzido a partir desses processos fornece uma quantidade de energia inferior àquela necessária para obtê-lo, o que é inviável. Seria mais vantajoso utilizar a energia desperdiçada no processo de conversão de água ou metano em hidrogênio, para alimentar um veículo elétrico ou híbrido diretamente, evitando, assim, perdas de energia. E a questão da matriz para produção de energia para realizar essa conversão, é mais um ponto de análise, conforme já apresentado e discutido em vários tópicos deste trabalho.

Além disso, existem ainda outros limitadores fortes que contribuem para barrar o avanço dos veículos a hidrogênio, a citar:

- Dificuldade de armazenamento do gás hidrogênio, que requer pressão e temperatura controladas e específicas; e tal armazenamento se faz necessário nas usinas, transporte, redes de abastecimento e no próprio veículo que irá utilizá-lo;
- Elevado custo da célula de combustível e do tanque de armazenamento do combustível – dado à especificidade de temperatura e pressão para manter o regime ideal de trabalho;
- Limitada rede de abastecimento – significativamente menor que os pontos de recarga para veículos elétricos – conforme mencionado por Souza (2017), em todo território dos Estados Unidos, existem menos de 20 postos de abastecimento para veículos a hidrogênio;
- Vida útil reduzida – em torno de 15 anos.

Sendo assim, a visão não crítica de tudo que envolve os veículos a hidrogênio, o faria protagonizar os rumos da indústria automotiva e fazê-lo ter como principal alternativa, pela tratativa que lhe é dada. Porém, apesar de suas vantagens, os entraves apresentados se sobressaem e as limitações, no cenário atual, são ainda maiores que as propostas dos veículos elétricos e tecnologias para veículos a combustão, não se destacando tanto frente às tendências de outras opções existentes.

#### **4.5 A Cultura do *Motorsport***

A cultura do *motorsport* é, diante de muitas perspectivas, relacionada com os clássicos motores a combustão. Para muitos, falar em *motorsport*, automaticamente cria um vínculo direto com a robustez, potência, som e toda adrenalina que é entregue pelos fascinantes motores de combustão interna preparados.

Por mais que já existam categorias consagradas no automobilismo com veículos exclusivamente elétricos, a imposição da mobilidade elétrica alteraria todo o cenário do *motorsport*, oferecendo uma nova perspectiva que deixaria de agradar muitos fãs. E esse cenário envolve muito mais que a aceitação daqueles que acompanham o esporte e possuem um certo conservadorismo pela manutenção dos clássicos de corrida a combustão, abrangendo os fornecedores de combustível, componentes, fluídos, lubrificantes e peças para os atuais veículos; patrocinadores das equipes de automobilismo; incentivos financeiros; pesquisa; e desenvolvimento.

Todos esses setores teriam que se reestruturar para atender aos padrões das novas demandas (não que isso seja um problema). E isso não se limita apenas ao *motorsport*, mais que isso, possui expressividade muito maior para assistir a frota global de mobilidade. Mesmo que isso não represente um desafio tão relevante, é importante entender que a transição na indústria automotiva vai muito além do que a simples substituição nas alternativas de propulsão.

O *motorsport* possui forte influência sobre todas as tendências na indústria automotiva. É dessa cultura que alternativas que exploram a capacidade e os recursos dos motores a combustão – conforme apresentado no item 2.4.1.6, têm ganhado iniciativa para se concretizarem como melhorias a serem difundidas nas opções de mobilidade.

#### **4.6 Embarcações e Aeronaves**

Abordar a indústria automotiva, remete diretamente a relacioná-la com a mobilidade, movimentação e transporte, já que esses fatores constituem as funções primárias dos automóveis. As embarcações e aeronaves, também desempenham grande importância e representatividade na mobilidade, movimentação e transporte. Não faz sentido discursar sobre a transição na indústria automotiva sem mencionar a tendência para as embarcações e aeronaves ou vice-versa, uma vez que ambos se influenciam.

Há muito tempo tem-se estudado meios para combater os impactos ambientais e problemas de saúde causados, de acordo com os ambientalistas, pelas grandes quantidades de

gases tóxicos e fuligens lançados na atmosfera. Porém, tais alternativas priorizam inovações tecnológicas para automóveis e pouco se tem feito ou falado sobre as embarcações e veículos aéreos.

É importante, também, alinhar as tendências de veículos terrestres definidas, para as embarcações e aeronaves, pois estes possuem grandes influências, representando cerca de 22% (somando embarcações e aeronaves) nas emissões de poluentes envolvendo mobilidade, movimentação e transportes, conforme apresentado no item 2.5.2.

#### **4.7 A Críticidade e Vulnerabilidade do Petróleo**

A busca por diferentes alternativas de mobilidade, seria melhor justificada se a questão de abastecimento e fornecimento de combustível fosse apontada como causa principal. Usar a ideia de sustentabilidade para defender e impor uma transição na indústria automobilística, em direção à totalidade da mobilidade elétrica, é incompatível, diante do cenário atual. A questão de abastecimento e futura escassez de recursos para atender os processos de combustão e propulsão dos automóveis, sobressaem como argumentos para fundamentar esse fenômeno.

O petróleo é um recurso muito crítico e vulnerável, e seu abastecimento e fornecimento, ainda mais. Estima-se, conforme mencionado por Hinrichs *et al.* (2015), que o petróleo irá durar aproximadamente 40 anos, considerando o consumo atual e considerando que não haja descoberta de novas reservas do recurso. Por se tratar de uma fonte não renovável, o petróleo tornou-se uma ferramenta central de grandes disputas geopolíticas, tal que as flutuações em seu mercado interferem diretamente na economia em escala global, como aconteceu na década de 1970, durante as duas crises do petróleo. Apesar de existir um organismo intergovernamental que regulamenta a produção e comercialização do petróleo, que é a Opep – Organização dos Países Exportadores de Petróleo, as crises envolvendo o recurso podem ser inevitáveis, dependendo dos fatores e interesses econômicos, históricos e políticos comprometidos. A Guerra do Golfo é um exemplo explícito dessa situação.

Isso evidencia que buscar novas alternativas que dispensem ou reduzam o uso do petróleo, se faz importante diante do cenário de criticidade do recurso. Tal proposta implica na diminuição da dependência de abastecimento e fornecimento de um recurso mundialmente vulnerável, melhorando, assim, a autonomia e soberania na gestão do uso da energia pelos países, redirecionando o foco da questão energética, ampliando a possibilidade de busca por melhores alternativas, estendendo a longevidade de um recurso que é utilizado em inúmeras

outras atividades (além do uso como combustível), reduzindo crises e conflitos e criando soluções mais viáveis.

#### **4.8 Energia e Propulsão de Automóveis**

Existe, ainda, um fator importante que deve ser considerado quando se trata da transição na fonte energética destinada à propulsão de veículos: a eficiência e a quantidade de processos na transformação de energia. Enquanto para os veículos a combustão tem-se apenas um processo de transformação de energia para se gerar a propulsão, para os veículos elétricos ou *fuel cell* haverá dois ou mais processos para obtê-la. Os veículos a combustão transformam a energia química dos combustíveis em energia mecânica de movimento – propulsão – através de uma transformação direta, obtida pelo processo de combustão. Os veículos elétricos, por sua vez, necessitam, no mínimo, de dois processos de transformação de energia para gerar a propulsão: uma, da fonte de elétrica em eletricidade e, depois, eletricidade sendo transformada em energia mecânica de movimento – propulsão. O ponto a ser destacado nesse âmbito, é a perda de eficiência energética nessa cadeia, devido ao aumento no número de processos de transformação de energia e perda de eficiência energética devido à transmissão, que representa algo em torno de 20% no Brasil (BEZERRA *et al.*, 2018). A Figura 32, ilustra melhor o descrito anteriormente:

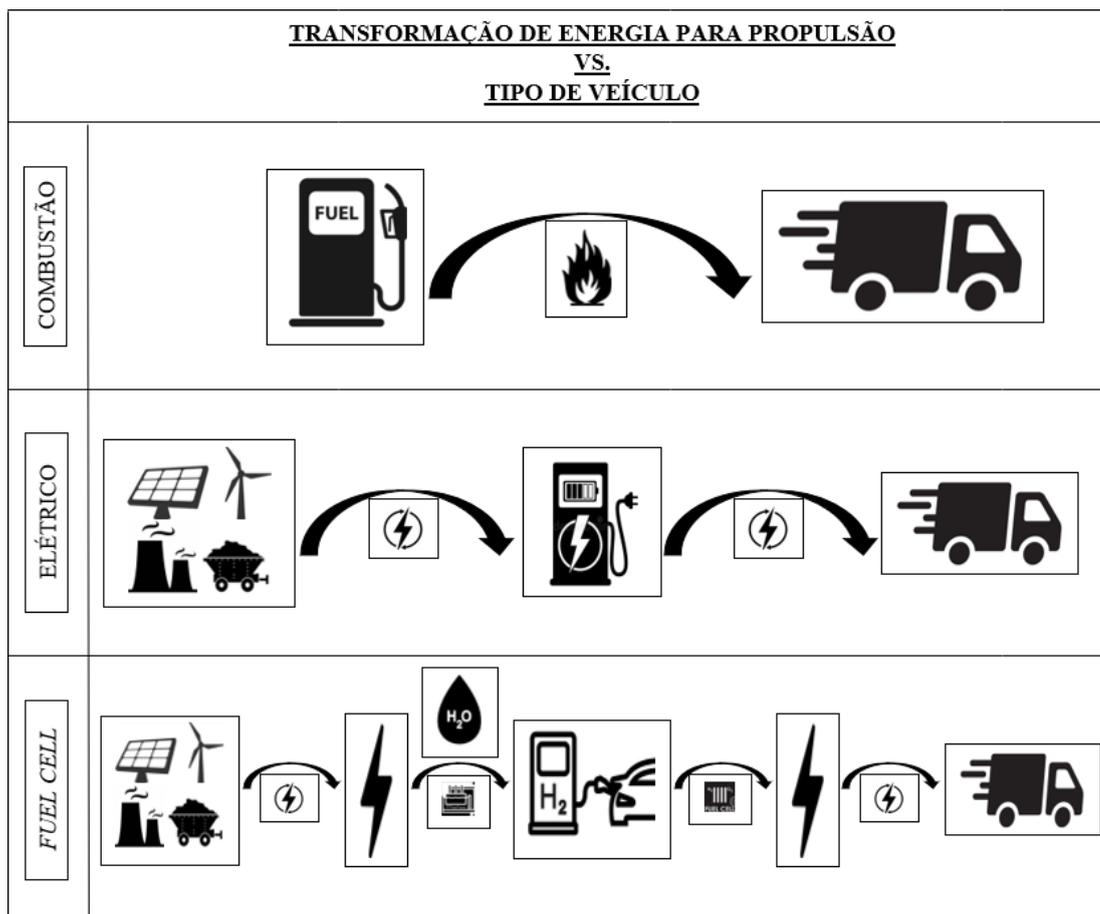


Figura 32: Transformação de Energia Para Propulsão vs. Tipo de Veículo.  
Fonte: Pesquisa Direta (2022).

Um ponto importante quando se refere à eficiência e taxa de emissão de poluentes para os veículos elétricos e *fuel cell*, é que não é considerado, nem evidenciado os processos de transformação de energia existentes para se obter a eletricidade – para veículos elétricos – ou o hidrogênio – para veículos *fuel cell* – e, também, a quantidade de perdas e prejuízos gerados à medida que se aumenta a quantidade de processos e transformações. É feita uma análise muito isolada dos veículos elétricos e *fuel cell* em si, sem considerar processos e transformações anteriores importantes, que impactam significativamente na cadeia geral.

Vale ressaltar que o diagrama da Figura 32 ilustra os processos de transformação de energia, e não os processos de transformação de matéria-prima, que contextualizam uma outra questão.

Não faz sentido gerar eletricidade para fins limpos sendo que a fonte geradora é poluente. Independentemente do tipo de fonte energética utilizada, seja renovável ou não, haverá algum impacto ambiental.

#### **4.9 O Status Cultural da Propriedade Sobre um Automóvel**

Dentre os destaques dos desafios contemporâneos, encontra-se a mobilidade urbana (MARANDOLA JR., 2018). Esta que, em muitos países – principalmente os emergentes e subdesenvolvidos –, se apresenta como problema um pouco mais crítico de ser minimizado, por conta da ineficiência do transporte público, por falta de incentivos para alternativas simples de mobilidade e por um fator cultural que norteia a mentalidade de grande parte da sociedade: o *status* da propriedade sobre um automóvel. Possuir um automóvel é sinônimo de exclusividade e luxo.

Apesar dos benefícios que envolvem comodidade, conforto, praticidade, liberdade, independência, diversão e *hobbies*, em muitas situações os automóveis estão mais atrelados ao *status* do que à real necessidade. É um bem de consumo tão desejado que faz as pessoas comprometerem o patrimônio familiar e a situação financeira e dispensarem itens básicos de qualidade de vida, para adquirirem um automóvel – dado o elevado custo do mesmo no Brasil, por exemplo. E essa situação é ótima para o mercado automotivo e para movimentação da economia.

É claro que essa necessidade da propriedade sobre um automóvel também envolve a infraestrutura e os incentivos em torno da mobilidade. A inexistência de um ou dois dos fatores mencionados anteriormente, reforça a necessidade da propriedade de um automóvel atualmente. Para mitigar essa necessidade, faz-se necessário um redirecionamento no foco da indústria automotiva – dedicado, também, para melhoria de alternativas de transporte público –, reestruturação urbana com otimização das conexões, educação e incentivo em alternativas mais acessíveis e inclusivas de transporte.

Em países europeus, por exemplo, é comum possuir poder aquisitivo para comprar um automóvel ou possibilidade de usá-lo com mais frequência e, mesmo assim, dar preferência para o transporte público ou outras alternativas de mobilidade simples, como a bicicleta. Isso acontece devido à existência de um transporte público acessível, inclusivo e de qualidade, pela cultura e pela infraestrutura urbana existente em torno da movimentação de pessoas.

#### **4.10 A Importância do Transporte Público de Qualidade e as Alternativas Simples de Mobilidade**

Uma análise isolada da transição na indústria automotiva, talvez não permitisse abordar a finalidade básica do automóvel: a mobilidade combinada com a capacidade em superar

distâncias. Essa capacidade envolve, além do automóvel, outras alternativas que permitem movimentar e transportar, destacando o transporte público e formas simples, como bicicleta e caminhada, por exemplo.

Promover um sistema de transporte público eficiente e de qualidade é uma iniciativa que se destaca na estratégia de melhoria da mobilidade urbana acessível e inclusiva. Isso depende de investimentos em infraestrutura, incentivo ao nível de procura existente para esse serviço, educação para mudança de mentalidade, reestruturação das conexões e malhas urbanas e planejamento governamental. Dentre as vantagens proporcionadas pelo transporte público eficiente e de qualidade, é evidenciado:

- Maior número de passageiros sendo transportados em um mesmo veículo;
- Menos tempo de transporte – quando o sistema é eficiente, estruturado e planejado;
- Consumo de menos energia – mais passageiros sendo transportados em um mesmo veículo;
- Redução de custo;
- Menor espaço físico ocupado nas cidades – menos veículos circulando ou estacionados e menos áreas destinadas para esses veículos;
- Redução da emissão de poluentes;
- Redução da poluição sonora;
- Minimização dos riscos de acidentes de trânsito;
- Redução de congestionamentos;
- Melhoria do controle e planejamento da mobilidade urbana.

O transporte público de qualidade é fundamental para o desenvolvimento econômico, qualidade de vida e eficiência das cidades modernas.

Além do transporte público eficaz e de qualidade, as alternativas simples de mobilidade, como bicicleta e caminhada, por exemplo, também são condições importantes na capacidade em superar distâncias, embora que curtas. Tais alternativas também esbarram no investimento em infraestrutura (ciclovias, sinalização, entre outros), educação e incentivo. Em regiões onde o *status* da propriedade sobre um automóvel não é um limitador cultural, as bicicletas e o deslocamento a pé são largamente utilizados para distâncias curtas.

Na Holanda, por exemplo, os fortes incentivos e investimentos em infraestrutura, educação e legislação, fazem do país um dos melhores espaços urbanos do mundo para se

pedalar, além dos incentivos financeiros para aqueles que se deslocam para o trabalho usando a bicicleta como meio de transporte. O resultado disso é uma redefinição do *layout* do espaço urbano, reduzindo os congestionamentos, permitindo melhores condições de circulação para os que realmente precisam de veículos privados para se deslocarem, melhorando a qualidade de vida e garantindo uma mobilidade mais acessível e inclusiva. A Figura 33 ilustra um pouco do resultado do incentivo às alternativas simples de mobilidade.

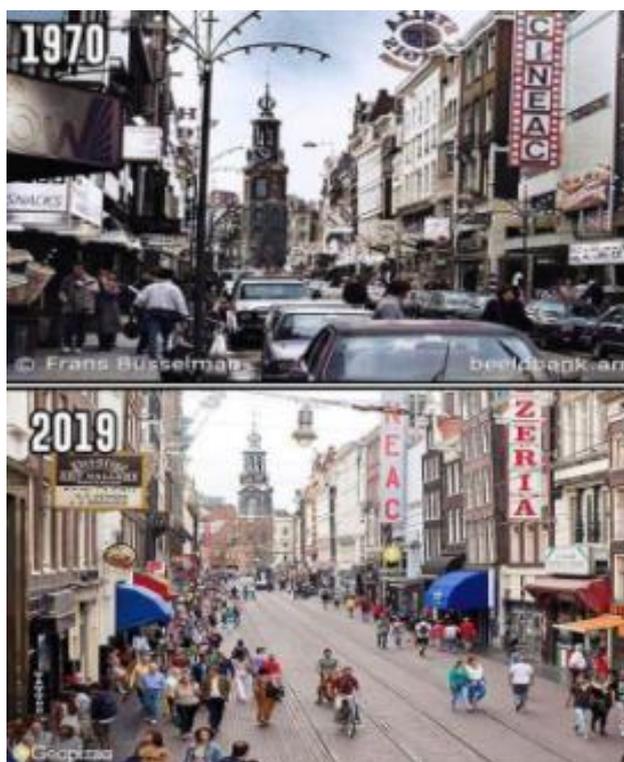


Figura 33: Amsterdam em 1970 e 2019.  
Fonte: Adaptado de Geopizza (2019).

É evidente, a partir da Figura 33, a melhoria do espaço urbano, acessibilidade, diminuição de congestionamentos e poluição visual.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusões

Tendo em vista as perspectivas apresentadas, o principal desafio da transição na indústria automotiva refere-se ao gerenciamento do uso da energia, especificamente à matriz energética para gerar a propulsão, à distribuição e transmissão da energia até o usuário final e aos desdobramentos ocasionados pelo processo de transformação de energia. O produto final gerado pela indústria automotiva – o automóvel em si – não representa o maior desafio para essa transição, uma vez que as alternativas de automóveis desenvolvidas e oferecidas por essa indústria – veículos a combustão, elétricos, híbridos e *fuel cell* – já desempenham sua função primária devidamente e submetem oportunidades para que a transição possa, de fato, acontecer. Isto é, a indústria automotiva em si, está cumprindo sua responsabilidade, à medida que busca e propõe tecnologias que se adequem às necessidades dos condutores e ao contexto da proposta da transição. O equívoco, no cenário atual, diz respeito à maneira como as alternativas de automóveis desenvolvidas – veículos elétricos, híbridos e *fuel cell* – são anunciadas e divulgadas para serem vendidas – sem transparência – e, também, à proposta de interromper e invalidar por completo o uso de veículos a combustão. Os automóveis elétricos ainda não cumprem a promessa de mobilidade mais acessível, inclusiva e sustentável.

Trata-se de um fenômeno e um processo muito complexo e que envolve inúmeras variáveis. A quantidade de argumentos e discussões que defendem e sustentam as vantagens e as desvantagens das diferentes alternativas existentes para a direção da indústria automotiva e para o futuro da mobilidade, traz a percepção de que ainda não há uma opção que combine aceitabilidade, acessibilidade, inclusão, sustentabilidade e viabilidade totalmente e que esteja alinhada, de modo completo, com as perspectivas culturais, econômicas, energéticas, políticas e sociais. Além disso, atender às expectativas dos condutores não se trata de uma tarefa fácil, ainda mais diante do acesso de informações que os mesmos possuem atualmente e perante os desdobramentos da transição na indústria automotiva. Combinar todos esses fatores, infelizmente, ainda não é uma realidade para o contexto.

A transição na indústria automotiva, no panorama dos desdobramentos atuais, com tendência de total exclusão de veículos a combustão, evidentemente, não é uma proposta que atenda completamente aos propósitos iniciais – quando analisada de modo crítico – e que também não soluciona o problema, uma vez colocada a combinação dos aspectos necessários para uma mobilidade inclusiva. É evidente, para determinadas situações, que veículos elétricos,

híbridos e *fuel cell* podem emitir mais poluentes e ocasionar maiores prejuízos ambientais que os veículos convencionais – a combustão – quando são considerados o processo para geração da energia elétrica ou obtenção de hidrogênio e os impactos causados pela produção de baterias específicas. Situação incompatível com os argumentos e justificativas que direcionam a transição da indústria automotiva. Existem alternativas, conforme apresentadas no Capítulo 4, que contribuem muito mais significativamente para os propósitos que desencadearam esse processo.

É necessário um sistema de mobilidade multimodal e integrado, que acarrete na geração de modos de transportes complementares ao invés de concorrentes, como ocorre na atualidade. A manutenção e permanência, da maneira como foi proposta, dos veículos a combustão, como uma alternativa adicional para a transição na indústria automotiva, aliada às novas tecnologias de veículos elétricos, híbridos e *fuel cell*, é vantajosa para esse evento e pode se apresentar como mais uma opção viável para uma mobilidade acessível, inclusiva e cada vez mais sustentável, conforme defendido por muitos. É obvio que as circunstâncias mudarão com o passar do tempo e as perspectivas e propostas devem estar alinhadas com tais fatores, no sentido da evolução integral desse episódio.

## 5.2 Recomendações

Seguindo os objetivos, as argumentações, resultados, discussões e conclusões obtidas neste trabalho, recomenda-se, como futuras obras complementares para aumentar a disponibilidade de informações e abrangência das análises, o que é detalhado a seguir:

- Pesquisa qualitativa e quantitativa da eficiência dos processos de transformação de energia existentes em toda a cadeia para se obter a propulsão em automóveis a combustão e automóveis elétricos, considerando as perdas energéticas por dissipação, transformação e transmissão desde a matriz elétrica - para automóveis elétricos - e matriz energética - para automóveis a combustão. Após isso, confrontar os resultados obtidos e concluir para qual - automóvel a combustão ou elétrico - o processo por inteiro é mais viável, em termos econômicos e energéticos;
- Estudo detalhado do custo e das emissões da fase de uso para automóveis a combustão, considerando o uso de biocombustíveis. Comparar os resultados obtidos com os mesmos parâmetros para os automóveis elétricos, contemplando os diferentes cenários de matriz elétrica;

- Investigação abrangente da compensação entre o investimento inicial para a compra, o investimento para o abastecimento na fase de uso e o ciclo de vida dos automóveis elétricos, comparando-os com os automóveis a combustão. Em seguida, verificar a viabilidade entre as propostas;
- Avaliação da aplicabilidade de cada alternativa de automóvel de acordo com o perfil do condutor ou usuário da mobilidade.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

WEDENIWSKI, Sebastian. **The Mobility Revolution in the Automotive Industry: How not to miss the digital turnpike**. Tokyo: Springer, 2015.

NIEUWENHUIS, Paul; WELLS, Peter. **The Global Automotive Industry**. Cardiff: Wiley, 2015.

FERNANDES, Daniela. **Por que os carros movidos a gasolina e diesel estão com os dias contados em países europeus e vários emergentes**. BBC News, 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-42046977>. Acesso em: 05 out. 2021.

BRIGATO, João. **Quais são e quanto custam os carros elétricos no Brasil?** iCarros, 2020. Disponível em: <https://www.icarros.com.br/noticias/top-10/quais-sao-e-quanto-custam-os-carros-eletricos-no-brasil-/27972.html>. Acesso em: 23 jun. 2021.

MATSUBARA, Vitor. **Carros elétricos: quais são os modelos à venda no Brasil**. UOL, 2021. Disponível em: <https://www.uol.com.br/carros/listas/carros-eletricos-quais-sao-os-modelos-a-venda-no-brasil.htm>. Acesso em: 23 jun. 2021.

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE). **ÍNDICES E INDICADORES – PREÇO MÉDIO DE VEÍCULOS**. FIPE, 2021. Disponível em: <https://veiculos.fipec.org.br/>. Acesso em: 23 jun. 2021.

VILLAÇA, Thais. **Conheça os 10 carros novos mais baratos do Brasil**. Autoesporte. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2021/01/conheca-os-10-carros-novos-mais-baratos-do-mercado.ghtml>. Acesso em: 23 jun. 2021.

G1. **Reino Unido anuncia plano para acabar com carros a gasolina ou diesel até 2050**. Autoesporte, 2017. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/videos/noticia/2017/07/reino-unido-anuncia-plano-para-acabar-com-carros-a-gasolina-ou-diesel-ate-2050.ghtml>. Acesso em: 05 out. 2021.

IONITY. **It's getting easier to be green - driving towards a greener future with IONITY**. IONITY, 2020. Disponível em: <https://ionity.eu/en/news-and-media.html>. Acesso em: 05 out. 2021.

BMW. **Sustentabilidade na BMW**. BMW, 2020. Disponível em: <https://www.bmw.pt/pt/topics/fascination-bmw/electromobility2020/sustentabilidade.html>. Acesso em: 05 out. 2021.

CBIE. **ENTENDA O QUE É A CRISE ENERGÉTICA MUNDIAL E COMO ELA AFETA O BRASIL.** CBIE – Centro Brasileiro de Infraestrutura, 2021. Disponível em: <https://cbie.com.br/imprensa/entenda-o-que-e-a-crise-energetica-mundial-e-como-ela-afeta-o-brasil>. Acesso em: 05 out. 2021.

EDUARDO, Paulo. **Eles aliviam o bolso e o ar: 8 alternativas ao combustível fóssil.** AutoPapo, 2020. Disponível em: <https://autopapo.uol.com.br/noticia/combustivel-fossil-carro-eletrico-hibrido-etanol-gnv/>. Acesso em: 05 out. 2021.

COSTA, Guilherme. **O motor mais eficiente do mundo pertence à Mercedes-AMG.** RAZÃO AUTOMÓVEL, 2017. Disponível em: <https://www.razaoautomovel.com/2017/09/motor-eficiente-do-mundo-pertence-mercedes-amg>. Acesso em: 05 out. 2021.

F1. **How Formula 1 is striving to create a 100% sustainable fuel.** Formula 1, 2021. Disponível em: <https://www.formula1.com/en/latest/article.watch-how-formula-1-is-striving-to-create-a-100-sustainable-fuel.1ENHVTjKDbXNOlidEJ8okc.html>. Acesso em: 05 out. 2021.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **DICIONÁRIO AURÉLIO BÁSICO DA LÍNGUA PORTUGUESA.** Brasil: EDITORA NOVA FRONTEIRA, 1995.

MARANDOLA JR, Eduardo. **Habitar em risco: mobilidade e vulnerabilidade na experiência metropolitana.** 1. Ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2018.

SUMMIT MOBILIDADE URBANA. **Mobilidade.** SUMMIT MOBILIDADE URBANA – ESTADÃO, 2021. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/>. Acesso em: 14 mar. 2022.

CEBDS; Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Mobilidade 2030: Vencendo os desafios da sustentabilidade.** Rio de Janeiro: CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para Desenvolvimento Sustentável, 2004.

CRUZ, Talita. **O Que é Mobilidade Urbana? Entenda o Conceito e Veja Exemplos!** Viva Decora, 2022. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/o-que-e-mobilidade-urbana/>. Acesso em: 14 mar. 2022.

CARVALHO, Rafael. **Quais são os tipos de veículos? Veja as classificações.** Total Energies, 2019. Disponível em: <https://totalenergies.com.br/pt-br/quais-sao-os-tipos-de-veiculos-veja-classificacoes>. Acesso em: 15 mar. 2022.

BRUNETTI, Franco. **MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**. 2. Ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2018.

TURNS, Stephen R. **Introdução à Combustão: Conceitos e Aplicações**. 3. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

KONDRATIEV, Victor Nikolaevich. **Combustion**. Britannica, 2009. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/combustion>. Acesso em: 20 jul. 2021.

KROOS, Kenneth A; POTTER, Merle C. **TERMODINÂMICA PARA ENGENHEIROS**. 1. Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

MALAQUIAS, Augusto C. T.; BAÊTA, José G. C.; NETTO, Nilton A. D., SILVA, Thiago R. V. **A IMPORTÂNCIA DO ETANOL BRASILEIRO COMO COMBUSTÍVEL DA NOVA GERAÇÃO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**. Belo Horizonte-MG: Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2017.

LUZ JR., Luiz Fernando de Lima; KAMINSKI, Moacir; KOZAK, Ricardo Henrique; NDIAYE, Papa Matar. **BIOETANOL, BIODIESEL E BIOCOMBUSTÍVEIS: PERSPECTIVAS PARA O FUTURO**. IPEA, 2009.

BIANCHI, Gabriela. **A Importância dos Biocombustíveis**. 2014.

SANTOS, Max Mauro Dias. **Veículos Elétricos e Híbridos: Fundamentos, Características e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2020.

NEOCHARGE. **DIFERENÇA ENTRE CARRO ELÉTRICO E CARRO A COMBUSTÃO INTERNA**. NeoCharge, 2021. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/diferenca-carro-eletrico-e-combustao>. Acesso em: 19 mar. 2022.

SOUZA, Gustavo. **Carros movidos a hidrogênio**. CARRO ELÉTRICO, 2017. Disponível em: <https://carroeletrico.com.br/blog/carros-hidrogenio/>. Acesso em: 19 jul. 2021.

MIRANDA, Luiz Henrique Targa Gonçalves; SEO, Emília Satoshi Miyamaru; JUNIOR, Alcir Vilela. **CÉLULAS A COMBUSTÍVEL COMO ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DE CO2 EQUIVALENTE NA FROTA DE VEÍCULOS LEVES**. InterfacEHS – Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade, 2013.

TORRES, André. **Como funcionam os carros a hidrogênio?** Mais Tecnologia, 2016. Disponível em: <https://www.maistecnologia.com/como-funcionam-os-carros-a-hidrogenio/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

NICHELETTI, Robson Donizete. **Relatório de Química Inorgânica - Prática 1: Hidrogênio.** Itajaí, Santa Catarina: UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí, 2013.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; DOS REIS, Lineu Belico. **Energia e Meio Ambiente.** 5 Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

BEZERRA, Erick Costa; TEIXEIRA, Gerson Paz; ROCHA, Murilo Fraga da; MARIMON, Gabriel Cunha. **Conversão de Energia.** Porto Alegre: SAGAH, 2018.

DIAS, Diogo Lopes. **Combustíveis.** MUNDO EDUCAÇÃO. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/combustiveis.htm>. Acesso em: 20 jul. 2021.

IEA – *International Energy Agency*. **IEA Data and statistics.** IEA, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 21 mar. 2022.

VOLVO. **Carbon footprint report | Volvo C40 Recharge.** Volvo, 2021.

FELIX, Diego. **Carros elétricos emitem 70% mais gases do que convencionais, diz Volvo.** ISTOÉ, 2021. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/carros-eletricos-emitem-70-mais-gases-do-que-convencionais-diz-volvo/>. Acesso em: 01 mar. 2022.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 9. Ed. São Paulo: Atlas, 2021.

LOZADA, Gisele; NUNES, Karina da Silva. **Metodologia Científica.** Porto Alegre: SAGAH, 2018.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa.** 8. Ed. São Paulo: Atlas, 2018.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, María del Pilar Baptista. **Metodologia de Pesquisa.** 5. Ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SOUZA, Gustavo. **Converter carro a gasolina para elétrico: Como fazer?** CARRO ELÉTRICO, 2018. Disponível em: <https://carroeletrico.com.br/blog/converter-carro-eletrico/>. Acesso em: 09 nov. 2021.

SENADO FEDERAL. **LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022.** SENADO FEDERAL, 2022. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/35420157/publicacao/35420471>. Acesso em 17 fev. 2022.

**MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA. JÁ PENSOU NA SUA CASA E EM SEU CARRO ABASTECIDOS PELA ENERGIA DO SOL?** MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA, 2017. Disponível em: <https://microgeracaofv.wordpress.com/2017/11/18/ja-pensou-na-sua-casa-e-em-seu-carro-abastecidos-pela-energia-do-sol/>. Acesso em: 17 fev. 2022.

**ESTADÃO. Primeiro carro solar do mundo capaz de levar uma família é testado nos EUA.** ESTADÃO, 2014. Disponível em: <https://economia.estadao.com.br/blogs/retratos-da-economia/carro-solar/>. Acesso em: 17 fev. 2022.

**GEOPIZZA.** GEOPIZZA, 2019. Disponível em: <https://www.geopizza.com.br/>. Acesso em: 17 fev. 2022.