

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**Bruno Modesto Biz
Lucas Girardi Farhat**

**COMPARAÇÃO ENTRE VEÍCULO ELÉTRICO A ETANOL E VEÍCULO
ELÉTRICO A BATERIAS**

**CURITIBA
2022**

Bruno Modesto Biz
Lucas Girardi Farhat

**COMPARAÇÃO ENTRE VEÍCULO ELÉTRICO A ETANOL E VEÍCULO ELÉTRICO
A BATERIAS**

**COMPARISON BETWEEN ELECTRIC VEHICLE POWERED BY ETHANOL AND
ELECTRIC VEHICLE WITH BATTERIES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Orientador(a): Prof. Dr. Eloi Rufato Junior.

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

Bruno Modesto Biz
Lucas Girardi Farhat

**COMPARAÇÃO ENTRE VEÍCULO ELÉTRICO A ETANOL E VEÍCULO ELÉTRICO
A BATERIAS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 25 de novembro de 2022

Eloi Rufato Junior
Doutorado em Engenharia Elétrica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Andréa Lúcia Costa
Doutorado em Engenharia Elétrica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Paulo Cícero Fritzen
Bacharel em Engenharia Elétrica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

CURITIBA
2022

RESUMO

O veículo elétrico a etanol é uma nova tecnologia, ainda em desenvolvimento, que busca aprimorar o veículo elétrico convencional, apresentando soluções para a maioria dos problemas atuais do veículo elétrico. Esta versão do veículo elétrico funciona sem a combustão do etanol, são utilizadas apenas as moléculas de hidrogênio do etanol para se gerar energia elétrica através da fuel cell. O presente trabalho tem como objetivo explicar o funcionamento e as diferenças entre esses dois veículos, mostrando os benefícios que o veículo elétrico a etanol irá trazer para a população mundial no futuro. Existem dois principais motivos que levaram a realização desse trabalho, o primeiro é a bateria utilizada no veículo elétrico, pois ela apresenta um longo período de recarga e baixa autonomia, o que impossibilita a utilização do veículo elétrico em viagens de longa distância. O outro é o fato de que em muitos países, principalmente os europeus e os Estados Unidos, a matriz energética dos mesmos é composta majoritariamente por fontes de energia poluentes, como carvão, petróleo e gás natural. Este fato mostra que a energia elétrica gerada nesses países não é limpa, então a utilização do carro elétrico nesses países estaria apenas movimentando a poluição dos grandes centros urbanos para regiões mais afastadas, mas não diminuindo a poluição do país. Para a realização do trabalho foram utilizados artigos e pesquisas sobre o tema, buscando informações relevantes e analisando opiniões divergentes, resultando em uma análise comparativa entre os dois veículos e um estudo de caso. O estudo mostrou que o veículo elétrico a etanol tem um custo de utilização menor e um custo inicial maior que o veículo elétrico a baterias. Além disso, o veículo movido a etanol traz mais vantagens ao consumidor, como tempo de recarga menor e autonomia maior que a versão a baterias, também sendo mais sustentável que a versão a baterias. Analisando os resultados do trabalho, percebe-se que economicamente o veículo elétrico a etanol ainda não é atrativo ao mercado, porém é um modelo veicular que deve ser mais utilizado nos próximos anos por conta da sua diminuição de preço em um futuro próximo, das suas vantagens ecológicas e de uma melhor experiência do usuário em comparação com a versão a baterias.

Palavras-chave: veículo elétrico; etanol; bateria; matriz energética.

ABSTRACT

The ethanol electric vehicle is a new technology, still under development, which seeks to improve the conventional electric vehicle, presenting solutions for most of the current problems of the electric vehicle. This version of the electric vehicle works without the combustion of ethanol, only the hydrogen molecules from ethanol are used to generate electricity through the fuel cell. The present work aims to explain the operation and the differences between these two vehicles, showing the benefits that the ethanol electric vehicle will bring to the world population in the future. There are two main reasons that led to this work, the first is the battery used in the electric vehicle, as it has a long recharge period and low autonomy, which makes it impossible to use the electric vehicle on long-distance trips. The other is the fact that in many countries, mainly European countries and the United States, their energy sources are in the majority polluting energies, such as coal, oil and natural gas. This fact shows that the electricity generated in these countries is not clean, so the use of electric cars in these countries would only be moving pollution from the urban areas to more remote regions, but not reducing the country's pollution. To carry out the work, articles and research on the subject were used, seeking relevant information and analysing divergent opinions, resulting in a comparative analysis between the two vehicles and a case study. The study showed that the ethanol electric vehicle has a lower cost of use and a higher initial cost than the battery electric vehicle. In addition, the vehicle powered by ethanol brings more advantages to the consumer, such as shorter recharge time and greater autonomy than the battery version, also being more sustainable than the battery version. After all, the study shows that economically, the ethanol electric vehicle is not yet attractive to the market, but still is a vehicle model that should be more used in the coming years, because of its price decrease in the near future, its ecological advantages and a better user experience compared to the battery-powered version.

Keywords: electric vehicle; ethanol; battery; energy sources.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Protótipo de veículo elétrico etanol da Nissan.....	12
Figura 2 - Veículo elétrico “La Jamais Contente”	18
Figura 3 - Veículo elétrico Tesla Roadster, lançado em 2008.....	20
Figura 4 - Esquema de funcionamento do veículo elétrico	21
Figura 5 - Representação do espaço ocupado pelas baterias no veículo elétrico	23
Figura 6 - Funcionamento do veículo elétrico a etanol.....	30
Figura 7 - Funcionamento da célula de eletrólise e da célula de combustível ..	32
Figura 8 - Modelo de célula de combustível	34
Figura 9 - Pilha mostrando conexão entre ânodo e cátodo através das placas bipolares	36
Figura 10 - Sistema de vedação de borda com cátodo, eletrólito ânodo	37
Figura 11 - Placa bipolar com coletor interno.....	38
Figura 12 – Gráfico do custo de manutenção dos veículos elétricos	48
Figura 13 – Gráfico do custo total dos veículos elétricos	50
Figura 14 – Gráfico do fluxo de caixa dos veículos elétricos.....	52
Figura 15 – Gráfico do payback dos veículos elétricos	53
Figura 16 - Gráfico do VPL dos veículos elétricos	56
Figura 17 - Gráfico da TIR dos veículos elétricos	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - comparação entre a emissão de gás carbônico dos dois veículos ..	42
Tabela 2 – Diferença de preço entre os veículos elétricos	45
Tabela 3 – Custo de deslocamento dos veículos elétricos	46
Tabela 4 – Custo de peças dos veículos elétricos	47
Tabela 5 – Custo de manutenção dos veículos elétricos	48
Tabela 6 – Custos equivalentes para ambos os veículos	49
Tabela 7 – Custo total dos veículos elétricos	50
Tabela 8 – Fluxo de caixa do veículo elétrico a baterias	51
Tabela 9 - Fluxo de caixa do veículo elétrico a etanol conservador	51
Tabela 10 - Fluxo de caixa do veículo elétrico a etanol otimista.....	51
Tabela 11 – Payback dos veículos	53
Tabela 12– VPL do veículo elétrico a baterias	55
Tabela 13– VPL do veículo elétrico a etanol conservador.....	55
Tabela 14– VPL do veículo elétrico a etanol otimista	56
Tabela 15 – Valor da TIR para os veículos	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação entre o funcionamento dos dois veículos	41
--	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
Cine	Centro de Inovação em Novas Energias
Copel	Companhia Paranaense de Energia
CPE	Centro de Pesquisa em Engenharia
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FEEC	Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	Organização Internacional de Energia
Ipen	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
IPVA	Imposto sobre Propriedades de Veículos Automotores
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PEM	Polymer-Electrolyte Membrane
PMAC	Motor de corrente alternada síncrono de ímãs permanentes
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa mínima de Atratividade
Unica	União da Indústria de Cana-de-açúcar
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USP	Universidade de São Paulo
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

H	Hidrogênio
km	Quilômetro
kWh	Quilowatt-hora
O	Oxigênio
e ⁻	Elétron
H ⁺	Íon do Hidrogênio
OH ⁻	Hidroxila
cm ²	Centímetro quadrado
l	Litros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Tema	12
1.1.1 Delimitação do Tema	13
1.2 Problema e premissas	13
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 Justificativa	15
1.5 Metodologia de pesquisa	15
1.6 Estrutura do trabalho	16
2 VEÍCULO ELÉTRICO A BATERIAS	18
2.1 História	18
2.2 Funcionamento	20
2.2.1 Bateria	21
2.2.2 Motores Elétricos	24
<u>2.2.2.1 Motor de corrente contínua com escova</u>	<u>24</u>
<u>2.2.2.2 Motor assíncrono de indução</u>	<u>25</u>
<u>2.2.2.3 Motor de corrente alternada síncrono de ímãs permanentes (PMAC)</u>	<u>25</u>
<u>2.2.2.4 Motor de corrente alternada de relutância comutada</u>	<u>25</u>
3 VEÍCULO ELÉTRICO A ETANOL	27
3.1 História	27
3.2 Funcionamento	28
4 FUEL CELL	31
4.1 História	31
4.2 Funcionamento	33
4.2.1 Pilha	35
4.2.2 Abastecimento de gás e resfriamento	36
5 COMPARAÇÃO ENTRE O VEÍCULO ELÉTRICO A BATERIAS E O VEÍCULO ELÉTRICO A ETANOL	39
5.1 Funcionamento	39
5.2 Impacto Ambiental	41
6 ESTUDO TÉCNICO ECONÔMICO	44
6.1 Preço de venda	44
6.2 Custo de Utilização	45
6.2.1 Custo deslocamento	45

6.2.2 Custo manutenções.....	46
6.3 Viabilidade Econômica	49
6.3.1 <i>Payback</i>	52
6.3.2 Valor Presente Líquido (VPL).....	54
6.3.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)	57
6.3.4 Análise da Viabilidade Econômica	58
7 CONCLUSÃO	61
7.1 Sugestões para trabalhos futuros	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema

Os veículos a motor estão em constante evolução desde a sua criação, o primeiro veículo a combustão a ser patenteado e produzido em larga escala foi inventado em 1886 pelo engenheiro alemão Karl Benz. Desde essa época, a população em geral acredita que os veículos mais antigos utilizavam a queima de combustível para gerar energia mecânica, porém os veículos elétricos surgiram antes mesmo do veículo comercializado por Benz em 1886, mas não eram competitivos no mercado por conta do alto preço para a fabricação dos mesmos em comparação ao motor a combustão. Somente nos últimos anos, por conta das evoluções tecnológicas que possibilitaram uma baixa no preço desse tipo de automóvel, o veículo elétrico tornou-se um produto comercial em larga escala (BARAN, 2012).

Esta evolução tecnológica permite que novos protótipos de veículos sejam criados a cada ano. Uma das tecnologias mais recentes é o veículo elétrico a etanol, que utiliza um reformador de etanol para retirar as moléculas de hidrogênio do etanol. Essas moléculas são transformadas em energia elétrica pela *fuel cell*, que carrega as baterias do veículo elétrico. Essa é uma tecnologia que utiliza somente fontes de energia limpas para seu funcionamento, diferente do veículo elétrico, que em muitos países utiliza energia elétrica proveniente da queima de combustíveis para carregamento das suas baterias, despejando poluentes no meio ambiente da mesma forma que um veículo a combustão (WILBERFORCE, 2017).

Figura 1 - Protótipo de veículo elétrico etanol da Nissan



Fonte: IPEN (2021)

1.1.1 Delimitação do Tema

O trabalho irá analisar as tecnologias envolvidas e o funcionamento do veículo elétrico e do veículo elétrico etanol. Posteriormente será realizada uma comparação entre os dois, expondo as vantagens e desvantagens de cada.

1.2 Problema e premissas

Nos últimos anos o veículo elétrico surgiu como a solução para a grande quantidade de poluentes emitidos no ar pelos veículos a combustão, que funcionam com a queima de combustíveis fósseis e poluem os grandes centros urbanos. Porém, a energia elétrica utilizada nos veículos elétricos não é de fontes limpas na maioria dos países onde o carro já é comercializado (WILBERFORCE, 2017).

Nos países do continente europeu, na China e nos Estados Unidos, países que dominam a economia global e conseqüentemente são alguns dos países que mais emitem gases poluentes na atmosfera, a matriz energética desses países é formada principalmente pela queima de carvão mineral, combustíveis fósseis e urânio enriquecido, ou seja, energias que poluem o meio ambiente. Por este motivo, a poluição dos grandes centros urbanos gerada pelos carros movidos a combustíveis fósseis apenas é transferida para regiões afastadas dos grandes centros, onde ocorre a queima de combustíveis para a geração de energia elétrica, responsável pelo carregamento dos veículos elétricos (WILSON, 2013).

Por esse motivo, está em fase de estudo o veículo elétrico a etanol, carro que utiliza as moléculas de hidrogênio extraídas do etanol para carregar suas baterias, se transformando em um veículo com geração de energia mais limpa do que o veículo elétrico comercializado hoje em dia.

Este trabalho consiste em provar a premissa de que o veículo elétrico a etanol é mais ecologicamente sustentável que o veículo elétrico e posteriormente descobrir se o veículo elétrico etanol é uma alternativa comercial viável no mercado.

1.3 Objetivos

Com a realização do trabalho se busca realizar uma comparação técnica entre o veículo elétrico a etanol e o veículo elétrico, e posteriormente expor as vantagens e desvantagens do veículo elétrico etanol, uma tecnologia ainda em desenvolvimento, em relação ao veículo elétrico, um veículo já desenvolvido e já disponível para compra no mercado. Após essas duas etapas

será realizada uma comparação financeira entre os dois, algo que só será possível se as empresas que estão desenvolvendo o veículo elétrico etanol divulgarem uma estimativa de custo ou de valor final do veículo antes da conclusão do trabalho. Caso isso não ocorra, será realizada apenas uma comparação do custo por quilômetro rodado de cada veículo e uma estimativa de custo do veículo elétrico etanol tendo em vista o custo dos componentes utilizados no mesmo.

1.3.1 Objetivo Geral

O estudo consiste em provar que o veículo elétrico a etanol é uma alternativa mais ecologicamente sustentável em relação ao veículo elétrico, comparando ambas tecnologias, os combustíveis, os componentes utilizados por cada veículo e seus impactos no meio ambiente.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para que se possa alcançar o objetivo geral deste trabalho é necessário alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o funcionamento e as tecnologias utilizadas no veículo elétrico;
- Analisar o funcionamento e as tecnologias utilizadas no veículo elétrico a etanol;
- Analisar o funcionamento e as tecnologias utilizadas na *fuel cell*;
- Realizar a análise técnica do veículo elétrico a baterias, do veículo elétrico a etanol e da *fuel cell*;
- Comparar o funcionamento e as tecnologias utilizadas entre os dois veículos;
- Comparar o impacto ao meio ambiente entre os dois veículos;
- Comparar o custo do usuário para utilização entre os dois veículos;
- Realizar estudo de análise de caso com ferramenta computacional para comparação de diferentes projetos de veículos elétricos a etanol com célula combustível;
- Realizar o estudo técnico econômico comparando os dois veículos.

1.4 Justificativa

O estudo a ser realizado busca provar a premissa de que o veículo elétrico a etanol é mais ecologicamente sustentável que o veículo elétrico, pois analisando artigos e estudos recentes pode-se concluir que o veículo elétrico somente seria sustentável se a matriz energética mundial fosse, na sua maioria, composta por fontes de energia renováveis.

Estudos mostram que ainda existe um agravante para o futuro, de acordo com Baran (2012), “a utilização de energia elétrica por automóveis permitiria uma redução do consumo de gasolina de 40,7% em 2031, acompanhado por um aumento do consumo de eletricidade de 42,1% em relação às projeções oficiais”. Este fato resultaria em uma necessidade rápida do aumento da produção de energia elétrica, e sem o planejamento para a construção de grandes hidrelétricas ou um grande aumento na utilização de energias renováveis, o consumo de energia elétrica provinda da queima de materiais irá aumentar no futuro próximo.

Ao comparar a emissão de carbono por veículos elétricos nos vinte maiores países do mundo, a pesquisa realizada por Wilson (2013), ressalta que “os veículos elétricos precisam começar a usar fontes de geração de energia que emitem menos carbono na atmosfera para maximizar a redução da emissão de carbono”.

A pesquisa também mostra que países que possuem a queima de carvão como a sua principal fonte de energia elétrica emitem quatro vezes mais carbono na atmosfera do que países que possuem uma fonte energética com baixa emissão de carbono. Em países onde a queima de carvão é dominante, os carros elétricos emitem carbono equivalente a um carro movido a gasolina (WILSON, 2013).

Por conta dos motivos expostos, o veículo elétrico a etanol é uma alternativa que possui uma grande possibilidade de crescimento no futuro próximo, pois utiliza uma energia limpa no seu funcionamento. Provar que o veículo elétrico a etanol é uma alternativa viável ajudaria a reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera no futuro próximo.

1.5 Metodologia de pesquisa

Para a realização da presente pesquisa, foram primeiramente coletas informações e dados sobre as tecnologias utilizadas nos dois veículos e seus impactos no meio ambiente. Tendo em vista que dois grandes estudos sobre o veículo elétrico a etanol estão sendo realizados no presente momento, uma parceria

da USP com a Nissan e o outro uma parceria da UNICAMP com a Volkswagen, utilizam-se os mesmos como base, juntamente com estudos já concluídos sobre o veículo elétrico a etanol e vários estudos também já concluídos sobre o veículo elétrico.

Com as informações e dados obtidos foi redigido uma pesquisa sobre o funcionamento dos veículos. Posteriormente, foi realizada uma comparação entre os dois veículos e redigido os resultados obtidos na comparação.

Para finalizar o estudo, foram coletados dados sobre o custo para deslocamento de cada veículo, o valor de custo do fabricante e uma projeção de valor comercial de cada veículo. Posteriormente a obtenção desses dados, foi redigido mais um comparativo entre os veículos utilizando esses dados.

Para realizar essas etapas foram utilizadas as literaturas mais relevantes sobre cada assunto para compor a análise de literatura e trabalhos desenvolvidos e apresentados nos seminários e simpósios internacionais para redigir os textos relativos a pesquisa bibliográfica.

1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em oito capítulos, conforme descrito abaixo:

Capítulo 1 - Introdução: tema a ser abordado, objetivos, resumo da metodologia aplicada, estrutura adotada para elaboração do trabalho;

Capítulo 2 - Veículo elétrico a baterias: apresentação da fundamentação teórica necessária para entendimento sobre o funcionamento e a história do veículo;

Capítulo 3 - Veículo elétrico a etanol: apresentação da fundamentação teórica necessária para entendimento sobre o funcionamento e a história do veículo;

Capítulo 4 – *Fuel cell*: apresentação da fundamentação teórica necessária para entendimento sobre o funcionamento e a história do dispositivo;

Capítulo 5 – Comparação entre os veículos: apresentação das diferenças técnicas entre os veículos e comparação entre o funcionamento, o impacto ambiental e o custo de utilização dos dois veículos;

Capítulo 6 – Estudo técnico econômico: apresentação de estudo técnico econômico que compara o preço de venda, o custo de utilização entre o veículo elétrico a etanol e o veículo elétrico a baterias e a viabilidade econômica do veículo elétrico a etanol;

Capítulo 7 – Conclusão: concluir o que foi observado durante a realização de todo o trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 VEÍCULO ELÉTRICO A BATERIAS

Este capítulo aborda sobre a história do veículo elétrico a baterias e sobre o seu funcionamento.

O veículo elétrico se tornou a grande tendência mundial nos meios de locomoção nos últimos anos, principalmente pelo fato de não emitir gases poluentes na atmosfera, o que ajuda a reduzir o efeito estufa e o aquecimento global.

2.1 História

Por conta de só ter começado a ser mais utilizado nos últimos anos, grande parte da população acredita que o veículo elétrico é uma invenção recente, porém, os primeiros estudos para a criação do motor elétrico começaram em 1821 com Michael Faraday e em 1832 o primeiro motor elétrico foi criado por William Sturgeon, levando a criação dos primeiros veículos elétricos comerciais no final do século 19.

Segundo Larminie e Lowry (2012, p.3), “o primeiro veículo elétrico que marcou época ficou conhecido como “La Jamais Contente”, que era pilotado pelo belga Camille Jenatton, e foi o primeiro a ultrapassar a velocidade de 100 quilômetros por hora”. A **Figura 2** mostra o “La Jamais Contente”:

Figura 2 - Veículo elétrico “La Jamais Contente”



Fonte: James Larminie; John Lowry (2012, p. 4)

Com o avanço tecnológico e a produção em massa das baterias recarregáveis, os veículos elétricos começaram a ser mais utilizados no final do século 19, atingindo o status de “veículo do futuro” no começo do século 20, visto que o

veículo elétrico era amplamente superior aos seus concorrentes, os veículos movidos a vapor e os movidos a combustão interna (LARMINIE; LOWRY, 2012).

A ampla popularidade do veículo elétrico ocorria pelo fato de ele ser muito mais confiável em relação ao seu funcionamento e de ter partida direta, enquanto o veículo a vapor possuía baixa eficiência energética e o veículo a combustão interna não era tão confiável, pois apresentava várias falhas mecânicas, e possuía partida manual (LARMINIE; LOWRY, 2012).

Porém, por volta de 1920, vários eventos ocorreram e resultaram no declínio do veículo elétrico. O principal deles foi a descoberta de vários poços de petróleo, que resultaram em uma redução drástica no preço da gasolina, utilizada nos veículos a combustão interna, aumentando a popularidade dos mesmos. Outros fatos que contribuíram para esse declínio foram a invenção da partida direta para motores a combustão interna em 1911, a expansão territorial das grandes cidades da época, já que com a baixa autonomia e o alto tempo de recarga dos veículos elétricos a locomoção em grandes metrópoles começou a ser um problema, e a redução do custo dos veículos de combustão interna com as linhas de produção criadas por Henry Ford em suas fábricas (LARMINIE; LOWRY, 2012).

Somente em 1973 com a grande crise do petróleo, quando o preço do barril de petróleo teve aumentos expressivos, surgiu a necessidade da indústria de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, gerando o desenvolvimento de novos veículos elétricos. Entretanto, os protótipos e estudos da época não evoluíram, pois o custo do veículo elétrico continuava muito alto e sua autonomia muito baixa (STANDAGE, 2021).

Nos anos 90 aconteceu uma das maiores evoluções na tecnologia dos veículos elétricos, quando John Goodenough, da Universidade de Oxford, liderou o desenvolvimento das baterias de íon-lítio, que reduziram drasticamente o tempo de recarga e aumentaram a quantidade de energia armazenada dentro de cada bateria (LARMINIE; LOWRY, 2012).

Mesmo com a evolução das baterias, a pressão da indústria petrolífera e das montadoras de automóveis, juntamente com a falta de apoio do governo e falta de interesse do consumidor, impediram maiores avanços no desenvolvimento de novos veículos elétricos (STANDAGE, 2021).

Somente em 2008, com o primeiro veículo elétrico produzido pela montadora Tesla, ilustrado na **Figura 3**, e a forte investida do mercado chinês, o desenvolvimento

de veículos elétricos voltou a ganhar forças. Com o grande investimento em protótipos e apoio dos governos, todas as grandes montadoras se sentiram pressionadas a entrar no mercado de veículos elétricos, apresentando protótipos e buscando o desenvolvimento dos seus veículos (KLEINA, 2021).

Figura 3 - Veículo elétrico Tesla Roadster, lançado em 2008



Fonte: Lorena Pickert (2019)

Por conta do seu alto custo e problemas com autonomia e recarga, os veículos elétricos apresentam dificuldade para emplacar no mercado até hoje, porém, muitos avanços e marcos importantes já foram atingidos, como a marca de mais de 1 milhão de unidades vendidas no mundo em 2017 e o forte apoio do governo dos maiores países do mundo para a compra de veículos elétricos, com a isenção de taxas e impostos (KLEINA, 2021).

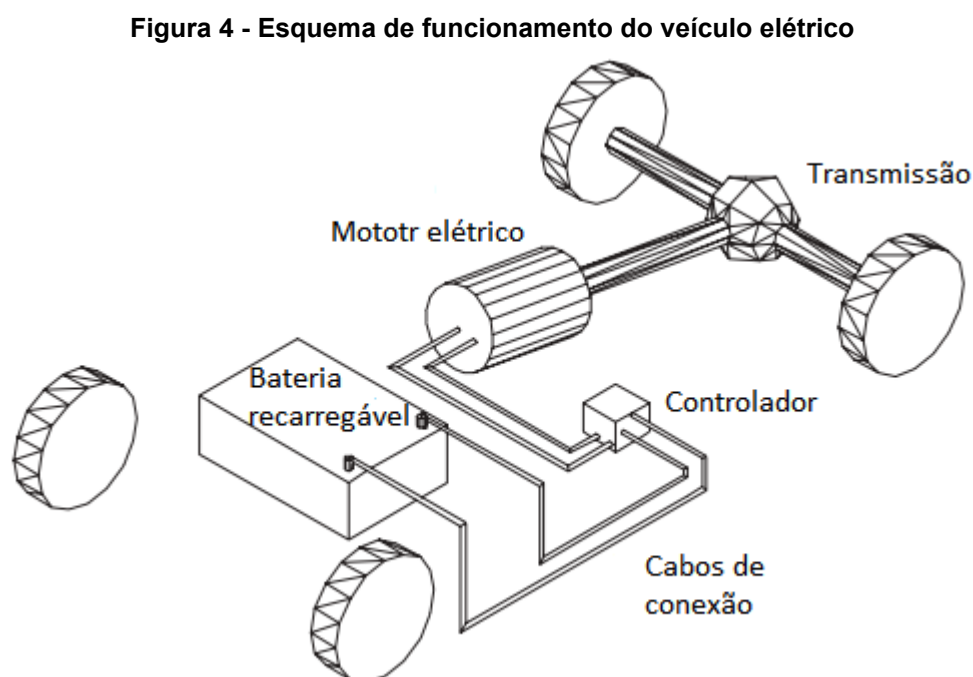
Segundo Cesar (2021), “no ano de 2021 o número de venda de veículos elétricos teve sua maior alta, atingindo 6,6 milhões de unidades comercializadas, o dobro se comparado com o ano anterior”, mostrando a força dos veículos elétricos para o futuro e seu grande crescimento na atualidade.

2.2 Funcionamento

Segundo Larminie e Lowry (2012, p.19), “os veículos elétricos possuem funcionamento bem mais simples do que os veículos a combustão, sendo constituído simplesmente pelas baterias, o motor elétrico e o controlador”.

Diferente do motor a combustão, os motores elétricos não necessitam da caixa de câmbio, o que regula a velocidade é o controlador, que aumenta ou diminui a potência aplicada no motor para alterar a velocidade do veículo. Por esse motivo, os veículos elétricos não possuem a troca de marcha, todos eles são automáticos, o controlador só define se o veículo estará se movendo para trás ou para frente (VOLAN, 2019).

O esquema de funcionamento do veículo elétrico pode ser observado na **Figura 4**:



Fonte: Adaptado de James Larminie; John Lowry (2012, p. 20)

2.2.1 Bateria

A bateria é um dos componentes mais importantes e mais caros do veículo elétrico. Ao longo dos anos, o desenvolvimento e avanços tecnológicos para tornar o veículo elétrico uma alternativa comercial viável sempre foram realizados em torno da bateria.

Apesar de parecer um componente simples, pois são encontradas baterias em vários equipamentos utilizados diariamente e por possuir uma estrutura básica, sendo a bateria um conjunto de pilhas agrupadas em série ou paralelo, e as pilhas um componente constituído de dois eletrodos e um eletrólito, ocorrem muitos projetos de desenvolvimento e estudos que buscam aumentar a quantidade de energia armazenada pelas baterias em um menor volume.

As primeiras pilhas surgiram em 1800 com o italiano Alessandro Volta e foram aprimoradas para um modelo bem mais estável por John F. Daniell em 1836. A pilha de Daniell é composta pelos eletrodos de cobre e zinco, que são imersos em uma solução de sulfato de cobre e sulfato de zinco, sendo interligados por uma ponte salina, com o objetivo de fechar o circuito elétrico (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

A primeira bateria recarregável surgiu em 1859 com o físico francês Raymond Gaston Planté. A sua bateria é constituída de chumbo e ácido, sendo utilizada até os dias atuais, principalmente em veículos a combustão (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

A bateria que é utilizada em veículos elétricos atualmente, e também na maioria dos dispositivos elétricos a bateria que utiliza-se em nosso dia a dia, é a bateria de íon-lítio, criada em 1970 pelos cientistas John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham e Akira Yoshino, sendo que John B. Goodenough também está envolvido no desenvolvimento da bateria em estado sólido, que será abordada ainda neste capítulo, projeto que deve revolucionar as baterias utilizadas no mundo novamente (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

A bateria de íon-lítio foi responsável por uma grande mudança no mercado, pois ela armazena uma quantidade de energia muito maior em um espaço e com um peso muito menor do que as outras baterias existentes na época, possibilitando a utilização de baterias em dispositivos móveis e a diminuição de tamanho e peso com aumento de autonomia de vários outros dispositivos. Outras grandes vantagens da bateria de íon-lítio são que sua capacidade de armazenamento de energia elétrica após vários ciclos de carga e descarga tem pouca alteração e de que não é necessário esperar a descarga completa da bateria para realizar a recarga, como ocorre com outros tipos de bateria (ATAIDE, 2010).

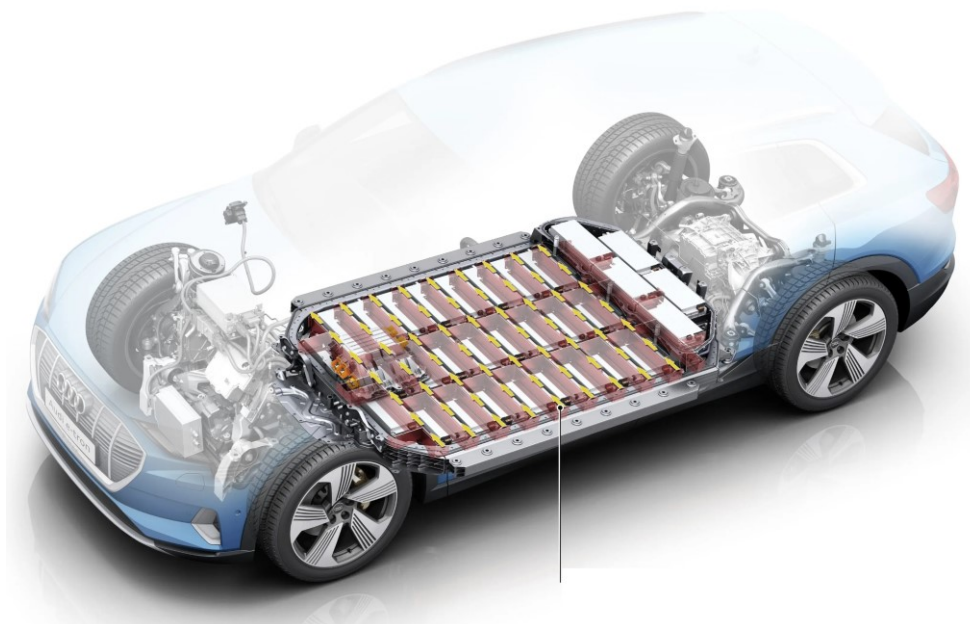
A bateria é composta por íons de lítio que se difundem através da rede cristalina do ânodo e do cátodo, sendo que para um íon ser intercalado no cátodo, um precisa deixar o ânodo, e vice-versa. Durante a descarga, os íons de lítio presentes no ânodo se movem para cátodo, movendo os elétrons através do circuito externo (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

Apesar dos inúmeros avanços na tecnologia das baterias nos últimos anos, a bateria de íon lítio ainda ocupa muito espaço nos veículos elétricos, como é possível

observar na **Figura 5**, e possui uma autonomia relativamente baixa, o que faz com que novos modelos de bateria não parem de surgir no mercado.

Na **Figura 5** a parte destacada no centro do modelo mostra o espaço ocupado pelas baterias no veículo elétrico.

Figura 5 - Representação do espaço ocupado pelas baterias no veículo elétrico



Fonte: Joaquim Oliveira (2020)

A empresa Tesla, que revolucionou o mercado de veículos elétricos, apresentou recentemente o modelo de bateria “4680”, que utiliza níquel no lugar do cobalto na composição do cátodo e silício no lugar do grafite no ânodo. Com essas mudanças a empresa divulgou que o custo por quilômetro rodado diminuiu 56%, a autonomia do veículo aumentou em 16% e a bateria diminuiu seu tamanho pela metade do volume, porém armazenando a mesma quantidade de energia, tudo isso em comparação com o modelo de bateria que a empresa utiliza atualmente. O tempo para recarga completa das baterias também foi reduzido para 15 minutos e a vida útil das baterias aumentou para um milhão de quilômetros, de acordo com a Tesla. Esse modelo tem previsão de começar a ser implantado nos veículos da empresa em 2023 (HABIB; KARYSSA, 2022).

Outro modelo que possui diversos estudos envolvidos é o da bateria no estado sólido. Este modelo é desenvolvido pelas principais montadoras automobilísticas do mundo. A aposta nesse modelo ocorre pelo fato de um eletrólito sólido substituir o eletrólito líquido, que é inflamável e pode agravar acidentes em caso de incêndios.

Outros motivos que impulsionam o desenvolvimento desse modelo de bateria é o seu carregamento mais rápido, seu menor custo e sua capacidade de armazenar mais energia em um mesmo espaço, tudo isso em comparação com as baterias de íon-lítio utilizadas nos veículos elétricos atuais. A única marca a anunciar a utilização de uma bateria sólida é a Toyota, porém, o lançamento do veículo que utilizará esse modelo de bateria é previsto somente para 2025, de acordo com a montadora (ZHENG, 2022).

2.2.2 Motores Elétricos

Existem vários modelos de motores elétricos utilizados em veículos, todos possuem o mesmo objetivo, que é de criar um campo magnético no estator que gire o rotor, e que conseqüentemente o rotor gire as rodas do veículo. Porém, a diferença entre eles é a utilização de corrente alternada ou contínua e o tipo ou número de ímãs utilizados.

Entre os motores elétricos disponíveis para utilização em um veículo elétrico, existem quatro modelos que são os mais utilizados, de acordo com Passos (2021), Hashernia e Asaei (2008), eles são: motor de corrente contínua com escova, motor assíncrono de indução, motor de corrente alternada síncrono de ímãs permanentes (PMAC) e motor de corrente alternada de relutância comutada.

2.2.2.1 Motor de corrente contínua com escova

O motor CC é caracterizado por ter corrente contínua, ampla variação de velocidade e fácil controle para variar a tensão de entrada, e conseqüentemente a velocidade. Essas características tornam esse tipo de motor atrativo para os veículos elétricos, pois a variação de velocidade de veículos é constante (FREITAS, 2012).

O princípio de funcionamento do motor CC é simples, o eixo do motor entra em movimento através do torque elétrico produzido pelo rotor. Para gerar esse torque, o estator gera um fluxo magnético através da armadura, gerando um campo de excitação nos polos norte e sul, o comutador, que é a escova da máquina, é alimentado pela tensão e faz com que a corrente contínua seja transferida para a armadura e as bobinas, a bobina alimentada pela corrente contínua e atraída pelos campos de excitação começa a girar, produzindo o torque e movimentando o eixo da máquina (FREITAS, 2012).

2.2.2.2 Motor assíncrono de indução

O motor assíncrono de indução funciona com corrente alternada e campo magnético rotativo, que é criado a partir da tensão alternada aplicada nos enrolamentos do estator. A rotação do motor ocorre através da força eletromotriz, que é induzida pelo alinhamento do campo magnético do rotor e do estator. A carga desse motor faz com que a velocidade de rotação do rotor seja atrasada em relação ao campo magnético girante, esse atraso é chamado de deslizamento e é proporcional ao tamanho da carga, ou seja, quanto maior for a carga, maior será o atraso e conseqüentemente maior será a perda de velocidade do rotor. Possuir um deslizamento caracteriza o motor como assíncrono (HASHERNNIA; ASAEI, 2008).

Por não necessitar da utilização de ímãs, esse motor se tornou mais atrativo do que os motores com ímãs permanentes para a indústria automobilística, já que o custo dos ímãs é elevado. Entre os motores CA esse motor também se destaca pelo seu baixo custo, sua construção robusta, simplicidade e bom funcionamento, o que o torna o motor mais utilizado em veículos elétricos (FREITAS, 2012).

2.2.2.3 Motor de corrente alternada síncrono de ímãs permanentes (PMAC)

O motor PMAC funciona com corrente alternada, ímãs permanentes e sua comutação é feita eletronicamente, então os problemas ocasionados pelo deslizamento não ocorrem nesse motor, o caracterizando como motor síncrono (FREITAS, 2012).

Esse motor leva vantagem em relação ao motor CC por conta da ausência de comutador, reduzindo as perdas, e em relação ao motor síncrono de indução por ter torque constante, também reduzindo as perdas, e por ser mais silencioso. Porém, o custo e a fragilidade dos ímãs acabam reduzindo a popularidade desse motor entre os fabricantes, mas mesmo assim ele aparece em alguns modelos já produzidos (HASHERNNIA; ASAEI, 2008).

2.2.2.4 Motor de corrente alternada de relutância comutada

O motor de relutância comutada se destaca pelo seu baixo custo, perdas pequenas no rotor e alta velocidade do veículo. Anteriormente esse motor não possuía utilização em veículos por conta da sua baixa densidade de potência, que ocasionava em motores grandes e pesados. Entretanto, nos últimos anos estudos conseguiram

levar ao aumento da densidade de potência e conseqüentemente diminuição no tamanho e peso do motor, por esse motivo alguns veículos elétricos já utilizam esse motor e se destacam pela sua alta aceleração (FREITAS, 2012).

3 VEÍCULO ELÉTRICO A ETANOL

Este capítulo aborda sobre a história e sobre o funcionamento do veículo elétrico a etanol, um veículo ainda em desenvolvimento, mas que trará muitas mudanças ao mercado automobilístico.

3.1 História

O primeiro veículo elétrico a etanol foi apresentado em 2016 pela empresa japonesa Nissan, o veículo foi desenvolvido pela montadora com o objetivo de reduzir a emissão de gases tóxicos na atmosfera, porém, aproveitando a infraestrutura que alguns países já possuem, diferentemente do veículo elétrico que necessita da implementação de pontos de recargas espalhados pelas cidades para poder ser utilizado. A infraestrutura que se refere é o grande volume de etanol produzido por países da América do Norte e do Sul, que são as regiões onde a empresa deseja iniciar a implementação deste veículo nos próximos anos, onde esse tipo de combustível é amplamente utilizado pela população e tem fabricação em larga escala, por conta das grandes produções de cana de açúcar e milho, que são a base do etanol (BIOFUELS INTERNACIONAL, 2016).

Outro motivo que levou ao desenvolvimento do veículo elétrico a etanol é sua autonomia, o modelo lançado em 2016 pela Nissan tem capacidade de percorrer 600 km entre abastecimentos, com um consumo de 30 litros de etanol e 30 litros de água (BIOFUELS INTERNACIONAL, 2016).

Enquanto o veículo elétrico a baterias comercializado atualmente, em 2022, tem autonomia de 400 km, em média, com um consumo de 100 kWh, em média (NEOCHARGE, 2022).

Além de o veículo elétrico a etanol poder ser abastecido em qualquer posto de gasolina em minutos, enquanto o veículo elétrico possui um longo período para recarga.

Em 2019 a Nissan anunciou uma parceria com a universidade UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas) para o desenvolvimento do veículo elétrico a etanol no Brasil em conjunto com a universidade. A parceria continua até os dias atuais, porém ainda não foi apresentada uma versão comercial do veículo, apenas protótipos (IPEN, 2021).

Outra montadora que possui parceria com a UNICAMP para desenvolvimento do veículo é a Volkswagen, que iniciou a parceria em 2021. A montadora alemã

começou a desenvolver o veículo com o objetivo de não necessitar da utilização de um grande número de baterias em seus veículos, por conta do alto custo e do longo período para recarga das mesmas, segundo Hudson Zanin, docente da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) e pesquisador principal da Divisão de Armazenamento Avançado de Energia do Centro de Inovações em Novas Energias (CINE), que participa do desenvolvimento do veículo (MATEUS, 2021).

As duas montadoras também realizaram alguns outros acordos importantes, sendo eles com o Centro de Inovação em Novas Energias (Cine), com o Centro de Pesquisa em Engenharia (CPE) apoiado pela FAPESP, com a Shell e com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), sendo o acordo da Nissan com o Ipen o que mais trouxe resultados para o desenvolvimento do veículo elétrico a etanol (IPEN, 2021).

Segundo o Ipen (2021), “as pesquisas têm como meta reduzir a temperatura de trabalho das SOFC para mais próximo de 600°C e substituir o uso de metais preciosos, como platina e irídio, que hoje fazem parte de sua composição, por outros economicamente mais acessíveis, como níquel, zircônio e nióbio”.

Fabio Coral Fonseca, gerente do Centro de Células a Combustível e Hidrogênio do Ipen, afirmou em 2021, dois anos após o começo dos estudos, que foram obtidos bons resultados trabalhando a 700°C, comprovando que a parceria com a Nissan está apresentando evoluções (IPEN, 2021).

3.2 Funcionamento

O funcionamento do veículo elétrico a etanol se assemelha ao do veículo elétrico e possui pontos em comum com o veículo a combustão, mas também possui tecnologias que são exclusivas do seu modelo, que o tornam o veículo com características ideias para o futuro da sociedade.

O veículo elétrico etanol utiliza os mesmos motores do veículo elétrico, que foram detalhados no segundo capítulo, e também utiliza as mesmas baterias que o veículo elétrico, as baterias de íon-lítio, que também foram explicadas no capítulo 2. Entretanto, a diferença do veículo elétrico a etanol é que ele necessita apenas de uma bateria de íon-lítio para seu funcionamento, diferente do veículo elétrico que tem baterias de íon-lítio que representam até 30% do peso do carro, aumentando seu peso total em 0,5 toneladas, em média (BORGES, 2021).

A bateria de íon-lítio utilizada no veículo elétrico a etanol tem a função de armazenar energia proveniente da frenagem do carro e transportar essa energia para o motor. Esse sistema aumenta a autonomia do veículo e aproveita a energia que é desperdiçada com a frenagem, algo que não ocorre nos modelos de veículo a combustão que são utilizados atualmente (GARCÍA *et al*, 2020).

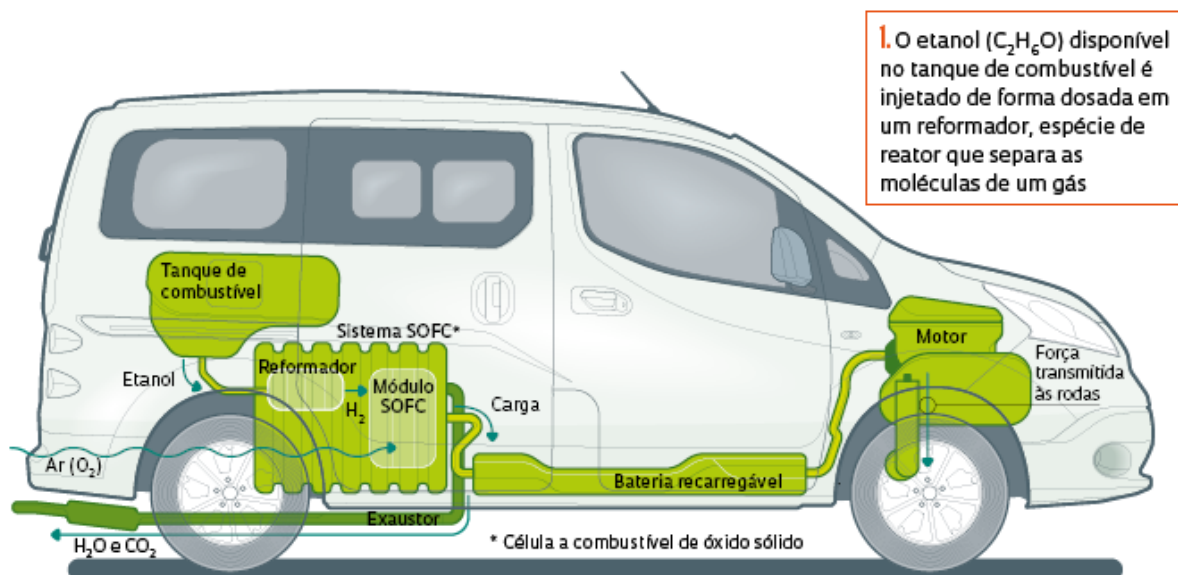
Com a utilização de um número bem menor de baterias, o custo do veículo elétrico a etanol se torna bem menor do que o veículo elétrico, tendo em vista apenas o custo das baterias, pois o componente mais caro dos veículos elétricos são as baterias. Outro problema que o veículo elétrico a etanol diminui é o descarte de baterias, pois, segundo Wan e Wang (2022, p. 4), “após aproximadamente 10 anos as baterias têm sua capacidade de armazenamento de energia reduzidas para 70-80%, se tornando inviável a sua utilização para abastecer um veículo”, tendo que ser descartadas.

Esse descarte de baterias é tratado como um dos grandes problemas do veículo elétrico, visto que não existe um plano atual para reciclagem ou descarte adequado do grande volume de baterias que os veículos elétricos irão parar de utilizar no futuro (SOARES, 2021).

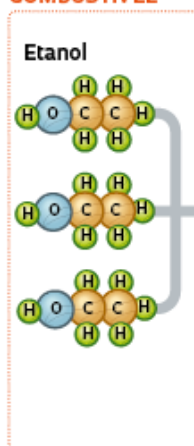
O tanque de combustível utilizado no veículo elétrico a etanol é semelhante ao usado nos veículos a combustão. No veículo elétrico a etanol o combustível que está no tanque vai para o reformador, onde um catalisador, composto geralmente por óxido de cério (CeO_2) e metais preciosos, quebra as moléculas de etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$), separando o hidrogênio que vai para a *fuel cell* e o gás carbônico (CO_2) que é eliminado pelo escapamento do veículo. Essa quantidade de gás carbônico eliminada pelo veículo é bem menor do que a quantidade liberada por um veículo a combustão, sendo considerada inofensiva ao meio ambiente. Na *fuel cell* o oxigênio do ar (O_2) reage no cátodo e o hidrogênio (H_2) gerado no reformador reage no ânodo, essa reação gera energia elétrica que abastece as baterias e movimenta o veículo. Dessas reações também é gerado vapor de água e calor, o vapor de água é eliminado pelo cano de escape e o calor é utilizado para aquecer o reformador (IPEN, 2021).

O funcionamento da *fuel cell* será descrito de forma detalhada no próximo capítulo. O funcionamento do veículo elétrico a etanol pode ser exemplificado de forma simplificada na **Figura 6**.

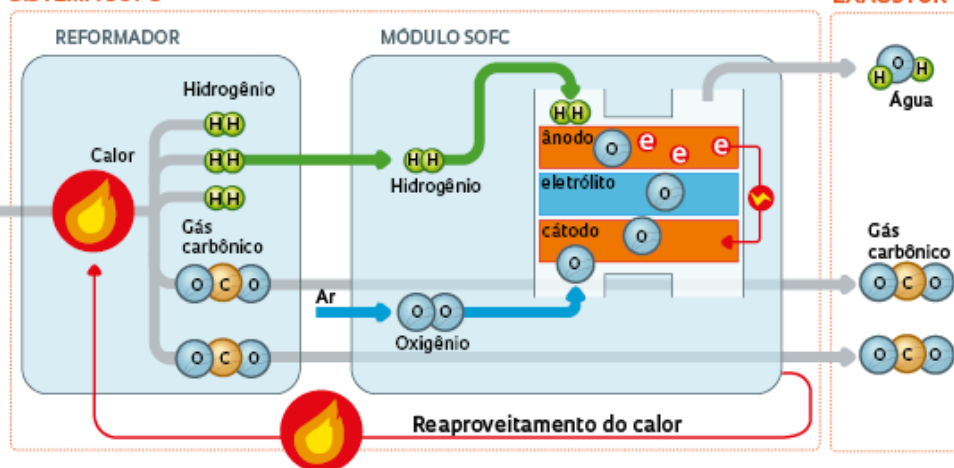
Figura 6 - Funcionamento do veículo elétrico a etanol



TANQUE DE COMBUSTÍVEL



SISTEMA SOFC*



Fonte: IPEN (2021)

4 FUEL CELL

Este capítulo aborda sobre a história, sobre o funcionamento e sobre as tecnologias utilizadas na *fuel cell*, uma tecnologia que apesar de ter sido inventada há muito tempo, ainda estão sendo desenvolvidas novas aplicações com essa tecnologia atualmente.

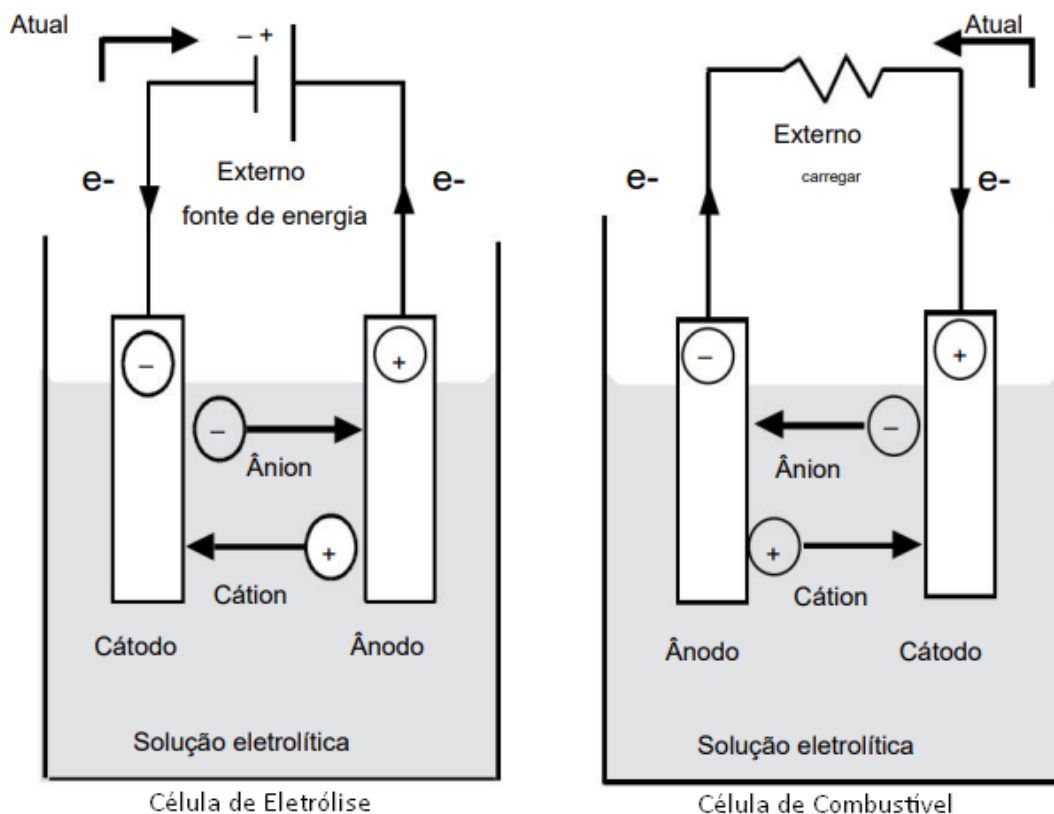
4.1 História

A célula de combustível é basicamente um dispositivo que gera energia elétrica a partir de um processo eletroquímico de um combustível. Esse funcionamento é semelhante a uma bateria, porém na bateria os seus reagentes estão internamente armazenados, enquanto na célula a combustível são armazenados fora. Dessa forma, as células a combustível são conceituadas pela sua potência, ao invés de sua capacidade.

No início do século 19, foi descoberto por Allessandro Volta, professor de física experimental da Universidade de Pavia, uma pilha constituída inicialmente de discos alternados de cobre e zinco separados por um material esponjoso estando em uma solução salina aquosa. Conectando fios em baixo e em cima da “pilha”, o conjunto forneceu corrente elétrica pela primeira vez de forma aproximadamente constante. Essa pilha ficou conhecida como Pilha de Volta, a partir de uma carta em 20 de março de 1800 (DICKS; RAND, 2018).

Ao receber a sua correspondência, Joseph Banks mostrou para Anthony Calisle, que com a ajuda de William Nicholson, montou sua primeira pilha em 30 de abril de 1800. No dia 2 de maio daquele mesmo ano, os dois descobriram que a corrente do dispositivo passada por 2 fios em uma solução salina era capaz de decompor os elementos da água, oxigênio em um fio e hidrogênio em outro. Este feito foi denominado por Michael Faraday em 1834 como eletrólise, como pode ser visto na **Figura 7** (DICKS; RAND, 2018).

Figura 7 - Funcionamento da célula de eletrólise e da célula de combustível



Fonte: Andrew Dicks; David Rand (2018)

Em 1838, William Robert Grove realizou seus estudos de eletrólise, imaginou como seria a reação inversa, fazendo a reação de hidrogênio com oxigênio, gerando eletricidade e formando água. Só em 1889 o termo “*Fuel Cell*” (Célula a Combustível) foi utilizado por Charles Langer e Ludwig Mond (VARGAS; *et al*, 2006).

Os cientistas Friedrich Wilhelm Ostwald e Emil Baur contribuíram com muitas pesquisas e teorias sobre as células de combustível. No final da década de 30, Francis Thomas Bacon começou a pesquisar sobre células de combustível com eletrólito alcalino de alta pressão, oferecendo vários resultados aparentemente viáveis. Durante a Segunda Guerra Mundial, ele passou a trabalhar no desenvolvimento de células de combustível para ser usado em submarinos ingleses (VARGAS; *et al*, 2006).

Apesar de serem inviáveis em questão do alto custo, as células a combustível de Bacon chamaram a atenção da empresa norte-americana Pratt & Whitney, que se uniu com a Energy Conversion, e licenciou o trabalho de Francis Bacon para desenvolver um sistema de geração de energia para a National Aeronautics and Space Administration (NASA) nos projetos espaciais Apollo e Gemini (VARGAS; *et al*, 2006).

Com o passar do tempo, as células de combustível alcalinas com alta pressão pararam de ser produzidas por conta de sua pequena vida útil e de seu alto custo. Embora os estudos das células a combustível tenham sido datados a muito tempo, a descoberta do petróleo resultou na paralisação das pesquisas por um longo período (DICKS; RAND, 2018).

No mundo moderno, as preocupações ambientais que vieram a se manifestar trouxeram de volta as pesquisas sobre células a combustível. O desenvolvimento apresentou grandes evoluções na diminuição do valor e aumento da durabilidade.

4.2 Funcionamento

Para entender o funcionamento da *fuel cell* e como a reação ocorre entre o hidrogênio e o oxigênio, é fundamental estudar a reação de cada eletrodo. Obviamente as reações mudam dependendo do tipo de célula a combustível utilizada, porem por ser de mais fácil entendimento e aplicação, foi escolhido uma célula com eletrólito ácido, como pode-se observar nas equações 01, 02 e 03 e na **Figura 8** que mostra a reação dentro de uma célula de combustível (BOHACKOVA; LUDVIK; KOURIL, 2021).

Ânodo (-), equação 01:



O hidrogênio é oxidado, libera elétrons formando íons H^+ e gerando calor.

Cátodo (+), equação 02:



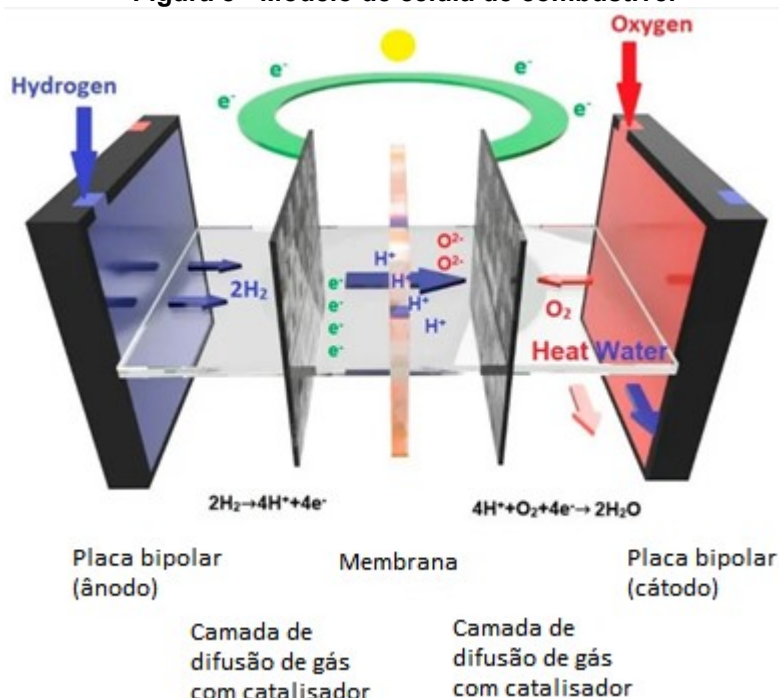
O oxigênio reage com os íons H^+ e os elétrons, formando água.

Reação Global, equação 03:



Para cada molécula de oxigênio são necessárias duas moléculas de hidrogênio, para manter o sistema em equilíbrio.

Figura 8 - Modelo de célula de combustível

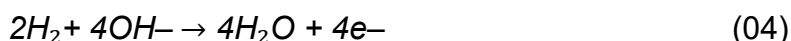


Fonte: Adaptado de Tereza Bohackova; Jakub Ludvik; Milan Kouril (2021)

Para as duas reações ocorrerem constantemente, os elétrons formados no ânodo devem passar por um circuito elétrico até o cátodo e os íons H^+ devem passar por meio de uma solução eletrolítica (ácido) ou alguns tipos de polímeros e materiais cerâmicos também podem servir para esse propósito. Esses materiais também podem ser chamados de membranas poliméricas trocadoras de prótons, do inglês PEM (Polymer-Electrolyte Membrane) (BOHACKOVA; LUDVIK; KOURIL, 2021).

Na célula a combustível com eletrólito alcalino a reação é a mesma, porém as reações em cada eletrodo são distintas. Numa solução alcalina os íons OH^- estão livres.

Ânodo (-), equação 04:



Os íons reagem com o hidrogênio e liberam elétrons formando água e gerando calor.

Cátodo (+), equação 05:



O oxigênio reage com os elétrons e a água, formando os íons OH^- .

A oxidação do hidrogênio no ânodo libera energia, porém, para que a reação inicie é necessário que alguma energia seja utilizada de forma a excitar as moléculas, a energia de ativação. Se a probabilidade de uma molécula ter energia suficiente for

baixa, então a reação vai acontecer lentamente (BOHACKOVA; LUDVIK; KOURIL, 2021).

As melhores formas de acelerar a taxa de reação são: utilizar catalisadores, aumentar a temperatura e aumentar a área de contato do eletrodo. As reações eletroquímicas acontecem na junção das moléculas de hidrogênio ou oxigênio com o eletrodo e o eletrólito. A taxa de velocidade que a reação ocorre no eletrodo é proporcional a área de contato, esse fato é tão importante que as células a combustível são apresentadas em termos de corrente por cm^2 (DICKS; RAND, 2018).

A área de contato do eletrodo não é considerada apenas a área geométrica, pois o eletrodo é feito de material altamente poroso, proporcionando um grande aumento da área efetiva da superfície de reação eletroquímica. Com as tecnologias evoluindo, as células de combustível atuais podem conter uma área de contato muito maior que a área geométrica (BOHACKOVA; LUDVIK; KOURIL, 2021).

4.2.1 Pilha

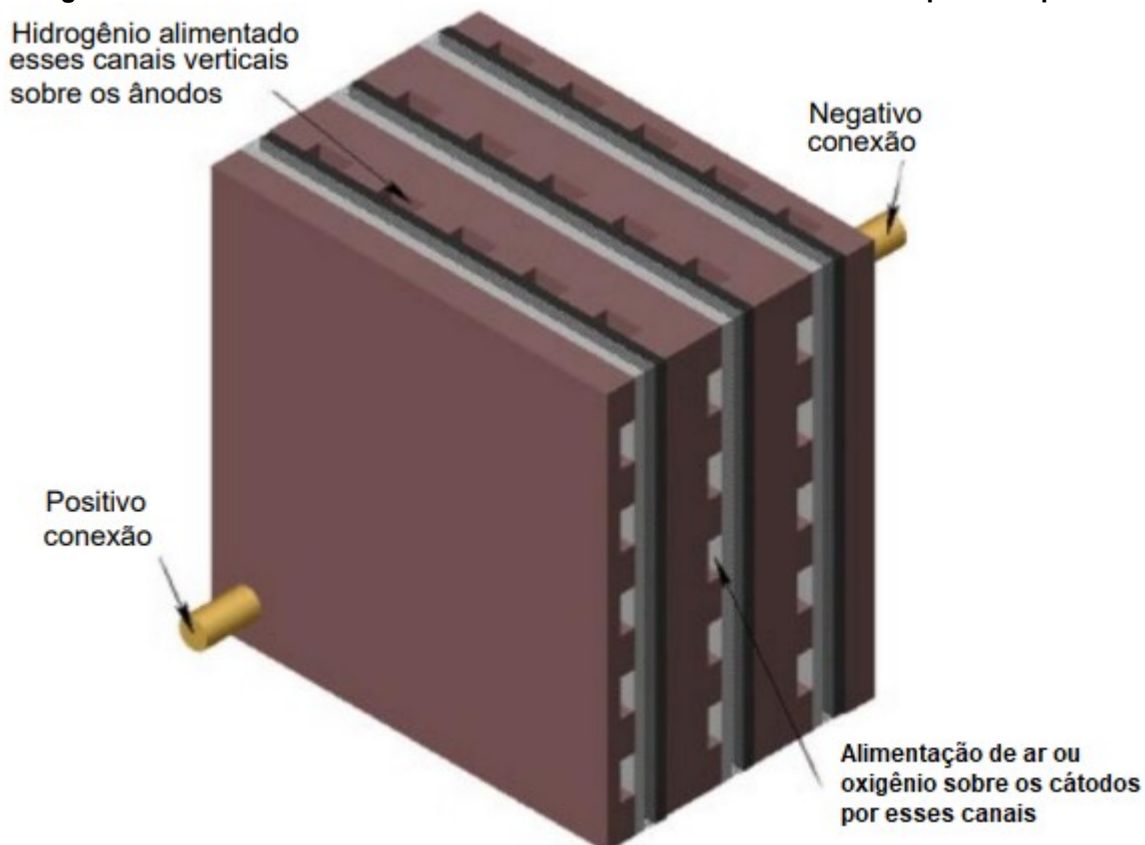
A célula de combustível tem o seu funcionamento em baixa tensão, para aumentar sua tensão até a desejada, as células podem ser conectadas em série, formando uma pilha. A célula de combustível possui várias composições, porém toda célula deve conter os seguintes elementos:

- Meio eletrolítico para conduzir íons. Podendo ser um sólido poroso que contém um eletrólito líquido (alcalino, ácido) ou uma membrana sólida fina que deve atuar como um bom condutor iônico e um isolante eletrônico, devendo ser estável em situações de forte redução e oxidação.
- Eletrodo negativo (ânodo) que contém um eletrocatalisador que é inserido em um material condutor.
- Eletrodo positivo (cátodo) com um eletrocatalisador de ponto triplo.
- Meio para conectar as células individuais
- Vedação para que os gases não se misturem e evitar infiltração célula a célula que causaria curtos-circuitos.

A placa plana é a geometria mais utilizada para as células a combustível, uma forma de montar as células em série é conectar o eletrodo negativo ao eletrodo positivo da próxima célula. Porém, esse projeto não é utilizado pois existe a possibilidade de ocorrer uma pequena queda de tensão, que apesar de pequena, é significativa (DICKS; RAND, 2018).

Uma forma de solucionar esse problema é utilizar placas bipolares. Esta placa é eletricamente condutora e faz o contato da superfície do eletrodo positivo e do negativo da próxima célula. Além disso, a placa bipolar pode alimentar com o oxigênio e o gás combustível, essa aplicação pode ser observada na **Figura 9** (DICKS; RAND, 2018):

Figura 9 - Pilha mostrando conexão entre ânodo e cátodo através das placas bipolares



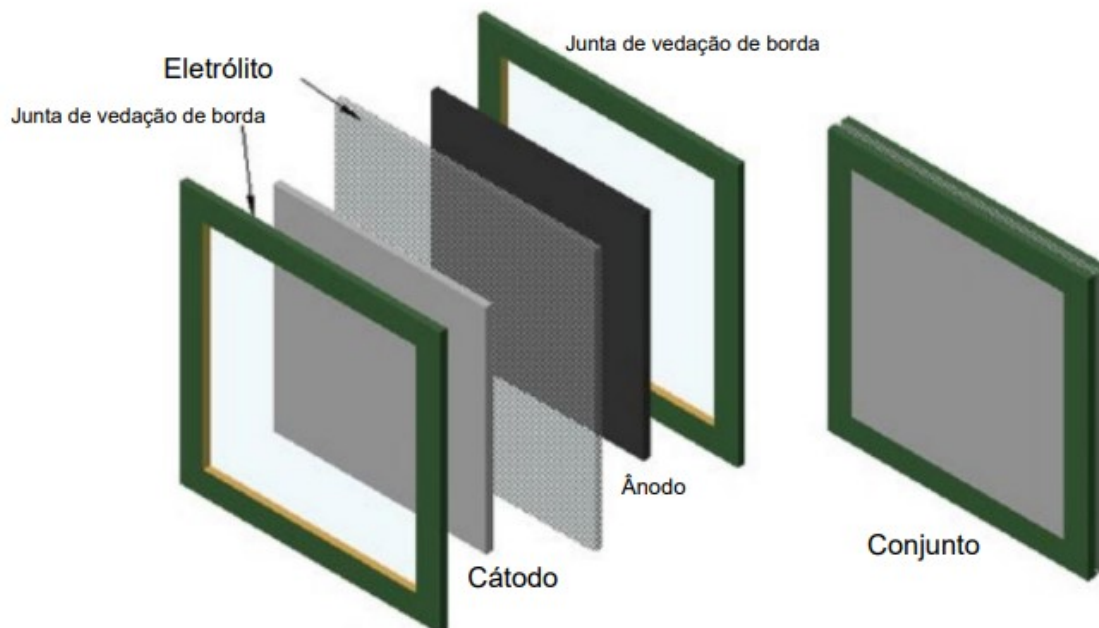
Fonte: Andrew Dicks; David Rand (2018)

4.2.2 Abastecimento de gás e resfriamento

Após analisar o princípio básico do funcionamento da placa bipolar, pode-se ver como solucionar os problemas de duplo fornecimento de gás e vedação contra vazamentos.

Os eletrodos, por serem porosos, permitem o vazamento do gás através de suas bordas, assim sendo suas bordas devem ser seladas. Para evitar a vazão, pode tornar o nicho do eletrólito um pouco maior que o dos eletrodos, fazendo o lacre conforme a **Figura 10** (DICKS; RAND, 2018):

Figura 10 - Sistema de vedação de borda com cátodo, eletrólito ânodo

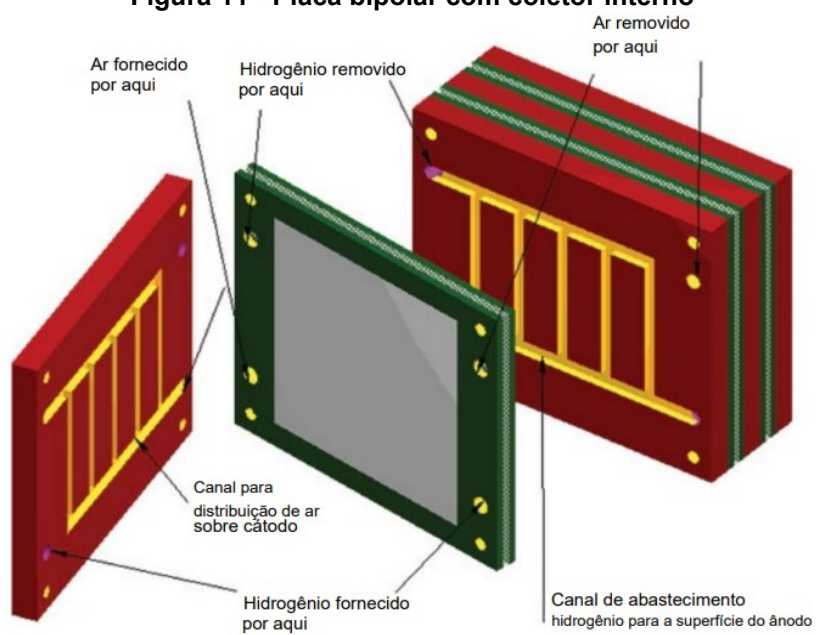


Fonte: Andrew Dicks; David Rand (2018)

Esses conjuntos podem ser transformados em pilhas, fornecendo os gases pelos coletores externos. Dessa forma os ânodos vão entrar em contato apenas com o hidrogênio, que será alimentado verticalmente a partir da pilha de células de combustível. Os cátodos vão entrar apenas em contato com o oxigênio, que será alimentado horizontalmente (NISHIMURA; *et al*, 2022).

O coletor externo traz desvantagens em relação ao resfriamento da pilha e a pressão desproporcional no nicho em volta da borda dos eletrodos. Para solucionar este problema, pode-se fazer a utilização de um coletor interno que tem seu arranjo facilitado, porém as placas bipolares têm um projeto mais complexo, sendo elas maiores em comparação com os eletrodos e com canais complementares para o fornecimento dos gases aos eletrodos (NISHIMURA; *et al*, 2022).

Esse sistema possui furos posicionados com precisão com o intuito de fornecer os reagentes nos canais internos de seus respectivos eletrodos, como é possível visualizar na **Figura 11**. O resfriamento das pilhas com coletor interno pode ser realizado circulando um líquido refrigerante entre as placas de metal condutoras que estão entre as células, outra alternativa é aumentar a espessura das placas bipolares e usar canais extras para o resfriamento (DICKS; RAND, 2018).

Figura 11 - Placa bipolar com coletor interno

Fonte: Andrew Dicks; David Rand (2018)

5 COMPARAÇÃO ENTRE O VEÍCULO ELÉTRICO A BATERIAS E O VEÍCULO ELÉTRICO A ETANOL

Neste capítulo serão apresentadas as semelhanças e diferenças entre o veículo elétrico a baterias e o veículo elétrico a etanol, abordando sobre o funcionamento e o impacto ambiental de ambos.

5.1 Funcionamento

Os dois veículos possuem o mesmo princípio de funcionamento, dependem da energia elétrica para abastecer o motor e movimentar o veículo. Entretanto, a origem da energia elétrica que é utilizada para abastecer o motor é o que torne esses veículos tão diferentes.

O veículo elétrico a baterias utiliza a energia elétrica da rede para funcionar. Essa energia é fornecida pela companhia de distribuição, sendo que ela pode ser gerada de várias formas, dependendo da região ou do país. As fontes mais comuns de energia elétrica são a energia hidrelétrica, a energia eólica, a energia solar, a energia nuclear e a energia proveniente de combustíveis fósseis, como carvão, gás natural e petróleo.

Já o veículo elétrico a etanol utiliza o etanol para gerar energia elétrica, através do processo que ocorre no reformador e na *fuel cell* do veículo, conforme explicado nos capítulos 3 e 4. O etanol é produzido através da fermentação de açúcares (sacarose, a glicose e frutose) e cereais. Esses nutrientes são encontrados em vegetais, sendo o milho, a beterraba e a cana-de-açúcar os mais utilizados para a produção do etanol (RAÍZEN, 2022).

O impacto financeiro dessa diferença de geração da energia elétrica entre os dois veículos será analisado no capítulo 6 e o impacto ambiental dessa diferença será apresentado na seção 5.2.

Uma pequena diferença é encontrada entre os dois veículos quando se trata de gases poluentes emitidos na atmosfera. Enquanto a versão a baterias não emite gases poluentes, a versão a etanol emite pequenas quantidades de gás carbônico, mas em uma quantidade considerada inofensiva ao meio ambiente. Mesmo possuindo essa diferença na emissão de poluentes, não se pode considerar ela como sendo significativa, já que a quantidade de gás carbônico emitido pelo veículo elétrico a etanol é inofensiva ao meio ambiente.

Um grande diferencial entre os veículos é o peso deles, o veículo elétrico a baterias possui um peso elevado por conta das baterias que representam 30% do peso do carro, pesando em média 0,5 tonelada a mais que um veículo a combustão do mesmo tamanho. Já a versão a etanol tem peso semelhante a um veículo a combustão do mesmo tamanho.

O veículo elétrico a baterias possui uma autonomia média de 400 km entre recargas completas das baterias. Já o veículo elétrico a etanol possui uma autonomia média de 600 km entre reabastecimentos completos do tanque de combustível. Esse aumento de 50% da autonomia torna a versão a etanol mais atrativa para usuários que utilizam o carro para viagens ou percorrem grandes distâncias sem ficar parados para recarregar as baterias.

Enquanto o veículo elétrico a etanol possui um tempo de reabastecimento completo do seu tanque extremamente curto, menos de 3 minutos, a versão a baterias tem seu período de recarga completa das baterias como um dos seus maiores problemas na atualidade. Mesmo com os avanços tecnológicos nos últimos anos, tendo inclusive um modelo de baterias da Tesla que promete ser recarregada completamente em apenas 15 minutos e que deve ser implementada nos veículos da empresa no ano de 2023, os veículos elétricos que possuem baterias de 40 kWh, modelo mais comum no mercado atualmente, demoram entre 6 e 8 horas para recarregar completamente as suas baterias em redes domésticas, podendo ter esse tempo reduzido para 1 hora em estações de carga rápida (FIAT, 2022).

Os veículos também possuem semelhanças, como o motor elétrico utilizado pelos veículos que é o mesmo, podendo variar conforme o fabricante e a potência, mas sempre seguindo o mesmo princípio.

Ambos os veículos não possuem caixa de câmbio, apenas um controlador, que define se o veículo se movimentará para frente, como se fosse a única marcha, ou para trás, marcha ré. Por esse motivo, todas as versões dos dois veículos são automáticas, não necessitando que o usuário do veículo realize a troca de marchas, como ocorre na maioria das versões do veículo a combustão.

Um resumo das diferenças entre o funcionamento dos dois veículos é apresentado no **Quadro 1**.

Quadro 1 – Comparação entre o funcionamento dos dois veículos

	Veículo elétrico a baterias	Veículo elétrico a etanol
Fonte de energia	Utiliza a energia elétrica fornecida pelas concessionárias de energia	Utiliza o etanol fornecido em postos de combustível
Emissão de poluentes	Não emite gases poluentes	Emite uma quantidade de gás carbônico que é inofensiva ao meio ambiente
Peso	Peso elevado por conta das baterias que representam 30% do peso do carro, pesando em média 0,5 tonelada a mais que um veículo a combustão do mesmo tamanho	Peso idêntico ao um veículo a combustão do mesmo tamanho
Autonomia	400 km a cada recarga das baterias	600 km a cada abastecimento completo do tanque
Tempo de recarga	Entre 8 horas e 1 hora, dependendo da fonte utilizada	Menos de 3 minutos
Motor	Ambos utilizam o motor elétrico para o seu funcionamento	
Câmbio	Ambos os veículos não possuem caixa de câmbio e são automáticos	

Fonte: Autoria própria (2022)

5.2 Impacto Ambiental

O impacto ambiental de cada veículo é mensurado pela quantidade de gases poluentes que o veículo emite no meio ambiente durante seu período de utilização e a quantidade de gases poluentes emitidos no ciclo de vida do combustível ou energia elétrica do veículo.

Os impactos ambientais dos veículos elétricos a etanol e a baterias durante o seu período de utilização são nulos, visto que a versão a baterias não emite poluentes e a versão a etanol emite uma quantidade de gás carbônico que é inofensiva ao meio ambiente, como descrito na seção 5.1.

Já o processo para geração da energia elétrica e do etanol também já foram explicados na seção 5.1, porém agora serão analisados os impactos que cada um traz ao meio ambiente.

Segundo a IEA, Organização Internacional de Energia, foram emitidos 14,2 Gt CO₂ no ano de 2021 para a produção de energia elétrica, considerando a soma de gás carbônico emitido por todas as fontes de energia elétrica existentes ao redor do mundo. Nesse mesmo ano foram produzidos cerca de 25.000 TWh no mundo, o que resulta em 0,568 kg CO₂/kWh emitidos na produção de energia elétrica em todo o planeta no ano de 2021 (IEA, 2022).

Já para a produção de etanol, estudos mostram que são emitidos cerca de 1.539,60 kg CO₂/ha ano. Visto que com um hectare de plantação de cana de açúcar, planta mais utilizada para a produção de etanol, são produzidos cerca de 8 mil litros de etanol, tem-se que 0,192 kg CO₂/l são emitidos a cada ano (GARCIA; SPERLING, 2010).

Com os dados calculados da emissão de gás carbônico no ciclo de vida da energia elétrica e do etanol, foi realizada uma comparação entre a emissão de gases poluentes dos dois veículos em relação a quilometragem percorrida por cada um, essa comparação é apresentada na **Tabela 1**.

Tabela 1 - comparação entre a emissão de gás carbônico dos dois veículos

	Autonomia	Consumo	Emissão de gás carbônico por km percorrido
Veículo Elétrico a Baterias	400 km	100 kWh	0,142 kg CO ₂ /km
Veículo Elétrico a Etanol	600 km	30 l	0,009 kg CO ₂ /km

Fonte: Autoria própria (2022)

Analisando a **Tabela 1** nota-se que o veículo elétrico a etanol emite quase 15 vezes menos gás carbônico que o veículo elétrico a baterias, considerando o ciclo de vida da Essa diferença expressiva entre os dois veículos mostra que o veículo elétrico a etanol é uma versão muito mais sustentável dos veículos elétricos, com tendência de aumento da diferença de emissão de gás carbônico, visto que o consumo de energia elétrica tem aumentado nos últimos anos e a mudança da frota de veículos a combustão para veículos elétricos tende a aumentar ainda mais o consumo de energia elétrica.

Esse aumento de demanda de energia elétrica não seria um problema caso ele fosse planejado, porém não existem grandes planos para aumento da matriz elétrica mundial em escala suficiente para suprir o aumento da demanda, o que resultaria na utilização de fontes mais abrangentes, como a queima de carvão e gás natural, fontes de energia mais poluentes, para a geração de energia elétrica, resultando em uma maior emissão de gás carbônico.

O veículo elétrico é tratado como o modelo do futuro, muito por conta da grande emissão de gases poluentes dos veículos a combustão, que tornam os veículos a combustão uma alternativa inviável para o futuro, por conta dos problemas

ambientais que já ocorrem atualmente resultantes da emissão desses gases na atmosfera.

Analisando apenas a parte ambiental, a versão a etanol se torna uma alternativa muito mais atrativa e viável que a versão a baterias, visto que se o intuito da troca da frota de veículos global é diminuir a emissão de poluentes na atmosfera, a versão a etanol é quase 15 vezes menos poluente que a versão a baterias e tende a aumentar essa diferença.

6 ESTUDO TÉCNICO ECONÔMICO

Neste capítulo é apresentada uma comparação entre os dois veículos estudados, mostrando através de um estudo técnico econômico o preço de venda, o custo de utilização de ambos os veículos e a viabilidade econômica da implementação do veículo elétrico a etanol.

6.1 Preço de venda

O veículo elétrico a etanol ainda não possui um modelo comercial, por esse motivo não é possível realizar uma comparação de preço entre ele e um veículo elétrico a baterias. Porém, nos Estados Unidos, mais precisamente na Califórnia, estão disponíveis para compra atualmente dois modelos de veículos elétricos a hidrogênio.

O veículo elétrico a hidrogênio tem funcionamento muito parecido com o veículo elétrico a etanol, enquanto o veículo elétrico a etanol é abastecido com etanol, e do etanol são retiradas as moléculas de hidrogênio, o veículo elétrico a hidrogênio já é abastecido diretamente com o hidrogênio. Por esse motivo, os dois veículos tendem a ter um preço de comercialização muito parecido no futuro, então o veículo elétrico a hidrogênio foi utilizado como referência para esta comparação.

Os dois modelos de veículos elétricos a hidrogênio em comercialização nos Estado Unidos são o Toyota Mirai e o Hyundai Nexu, até o ano de 2021 também era possível comprar o Honda Clarity, porem a montadora parou de produzir o carro. Entre os dois veículos disponíveis para compra atualmente, o fabricado pela Toyota é vendido atualmente por US\$50.000,00, enquanto o da Hyundai é vendido atualmente por US\$58.000,00 (SETO,2022).

O preço de venda de veículos varia de modelo para modelo e dependendo do fabricante do mesmo. Tendo isso em vista, foram utilizados modelos de veículos elétricos a baterias das mesmas montadoras para realizar a comparação, sendo eles o Toyota bZ4X, o Hyundai Kona e o Hyundai Ioniq 5.

Utilizando os sites das próprias montadoras, pode-se visualizar o preço de venda dos três veículos. O Toyota bZ4X é vendido atualmente por US\$42.000,00, o Hyundai Kona por US\$34.000,00 e o Hyundai Ioniq 5 por US\$39.950,00.

Realizando uma média do custo dos veículos, pode-se comparar a diferença de preço entre eles na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Diferença de preço entre os veículos elétricos

Média de preço veículo elétrico a baterias	Média de preço veículo elétrico a hidrogênio	Diferença de preço
US\$ 38.650,00	US\$ 54.000,00	39,72%

Fonte: Autoria própria (2022)

Analisando a **Tabela 2**, percebe-se que o veículo elétrico a hidrogênio é consideravelmente mais caro que o veículo elétrico a baterias, pode-se esperar então que o veículo elétrico a etanol venha a ser comercializado por um preço entre 40% e 50% mais caro que o veículo elétrico a baterias no futuro.

A diferença de preço entre os dois veículos é elevada, porém deve se levar em consideração que o veículo elétrico a baterias já está a mais de 10 anos sendo comercializado em larga escala e o veículo elétrico a etanol começará a ser comercializado nos próximos anos, o que deixa uma margem grande para a diferença de preço entre eles diminuir significativamente no futuro.

Para comparação, um dos primeiros veículos elétricos a ser comercializado foi o Nissan Leaf, em 2010 ele era vendido por US\$25.000,00 e atualmente é vendido por US\$28.000,00. Entretanto, tem-se que calcular o preço do veículo de 2010 corrigido pela inflação desde a época, que está acumulada em 37,55% nos Estados Unidos. Com isso, tem-se que o Nissan Leaf seria vendido atualmente por US\$34.387,55, representando uma redução de 18,58% no preço do veículo. Vale ressaltar também que o veículo passou por melhorias nesse período que aumentaram a sua autonomia, outro benefício além da redução do custo, mas que acabou impactando para que essa diminuição de preço não fosse ainda maior.

6.2 Custo de Utilização

Para calcular o custo de utilização de cada veículo foram calculados primeiramente o valor gasto em combustíveis ou energia para deslocamento dos veículos e o valor gasto com manutenções, e posteriormente custos que são iguais para os dois veículos, como IPVA, seguro e revisões.

6.2.1 Custo deslocamento

Como apresentado no Capítulo 3, o veículo elétrico a baterias percorre 400 km com um consumo de 100 kWh de energia elétrica e o veículo elétrico a etanol percorre 600 km com um consumo de 30 litros de etanol.

Segundo a ANP, o preço médio do etanol no Brasil no período de 11/09/2022 até 17/09/2022 foi de R\$3,43 (ANP, 2022).

Segundo a Copel, o preço da energia elétrica no mês de setembro de 2022 foi de 0,72807 R\$/kWh (COPEL, 2022).

Com os dados apresentados acima, pode-se calcular o custo de utilização de ambos os veículos, esses resultados são apresentados na **Tabela 3**.

Tabela 3 – Custo de deslocamento dos veículos elétricos				
	Autonomia	Consumo	Custo Abastecimento	Custo Utilização
Veículo Elétrico a Baterias	400 km	100 kWh	0,72807 R\$/kWh	0,1820 R\$/km
Veículo Elétrico a Etanol	600 km	30 l	3,43 R\$/l	0,1715 R\$/km

Fonte: Aatoria própria (2022)

Observando a **Tabela 3**, pode-se perceber que o custo de utilização dos dois veículos é muito parecido, podendo variar dependendo das bandeiras tarifárias que estão sendo aplicadas pela Aneel e do aumento ou diminuição do preço do etanol e da energia.

Sendo assim, não se pode concluir que um veículo é mais econômico que o outro, pois ambos possuem um custo por km percorrido muito parecido, sendo que esse custo pode variar durante curtos intervalos de tempo, conforme as variáveis explicadas no parágrafo acima.

6.2.2 Custo manutenções

Como visto no Capítulo 2, os veículos elétricos possuem uma estrutura muito mais simples que os veículos a combustão, possuindo menos peças e partes internas necessárias para seu funcionamento, resultando em menos itens para serem inspecionados em revisões e com menor risco de defeitos, reduzindo o custo com manutenções. Entretanto, quando os veículos elétricos a etanol e a baterias são comparados entre si, são percebidas pequenas diferenças em suas estruturas.

As peças que se destacam, por serem utilizadas no veículo elétrico a etanol e não estarem presentes no modelo a baterias, são a *fuel cell*, o reformador e o tanque

de combustível. Já o veículo elétrico a baterias se diferencia da versão a etanol pelo seu grande número de baterias.

A *fuel cell* é uma das principais peças do veículo elétrico a etanol, e por isso tem um custo bem elevado, mas também possui uma vida útil grande o suficiente para todo o ciclo de vida do carro, sem diminuir a sua eficiência. No site oficial da Toyota é possível comprar a peça por US\$ 41.500,00.

O reformador apresenta uma vida útil menor por conta do desgaste ocasionado pela intensa passagem de etanol e altas temperaturas, mas vários estudos estão sendo realizados para expandir a vida útil do mesmo.

Problemas com o tanque de combustível são relacionados com a bomba de combustível e com a boia, ambos os problemas são ocasionados por desgaste das peças e são facilmente corrigidas com a substituição das mesmas. Essas peças são facilmente encontradas em qualquer oficina, a bomba de combustível tem preço médio de R\$ 300,00 e a boia do tanque de combustível tem preço médio de R\$ 100,00.

As baterias dos veículos elétricos a baterias são responsáveis pela maior parte do custo deles e se tornam inutilizáveis após o seu período de vida útil, pois apresentam uma diminuição de 70% a 80% da sua capacidade de armazenar energia. Após o seu ciclo de vida de 10 anos, as baterias custam em média R\$30.000,00 para serem substituídas.

A vida útil de cada peça e seu custo com uma eventual troca podem ser observados na **Tabela 4**.

Tabela 4 – Custo de peças dos veículos elétricos			
	Vida útil	Custo	
<i>Fuel cell</i>	300.000 km	R\$	165.000,00
Reformador	5 anos	R\$	4.750,00
Bomba combustível	100.000 km	R\$	300,00
Boia do tanque	100.000 km	R\$	100,00
Baterias	10 anos	R\$	30.000,00

Fonte: Toyota (2022)

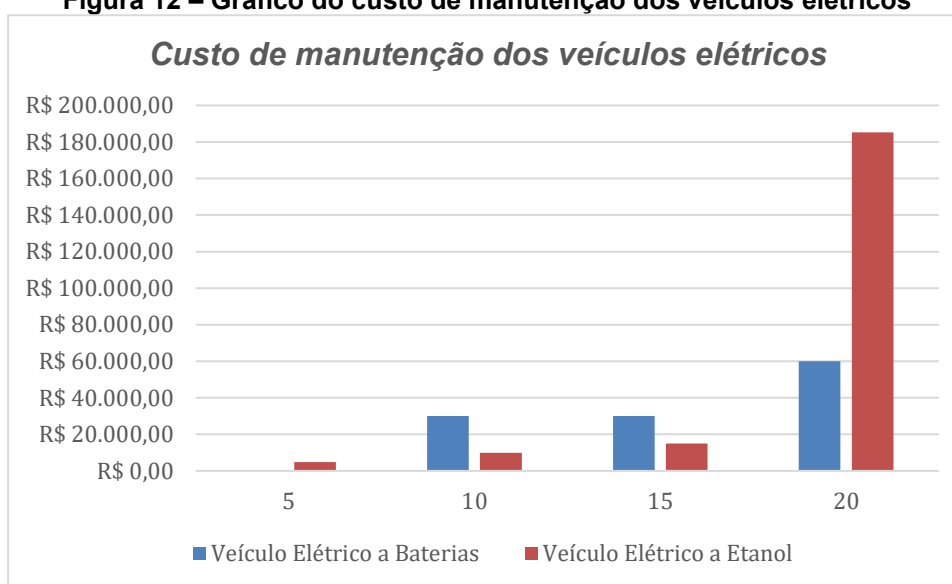
Tendo em vista que os veículos no Brasil percorrem em média 15.000 km por ano, foi realizada uma projeção de custos de manutenção dos dois veículos, considerando apenas as peças que eles possuem que são diferentes entre si, para 5, 10, 15 e 20 anos. Essa projeção é apresentada na **Tabela 5**.

Tabela 5 – Custo de manutenção dos veículos elétricos

Anos	5	10	15	20
Veículo Elétrico a Baterias	R\$ -	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00	R\$ 60.000,00
Veículo Elétrico a Etanol	R\$ 4.750,00	R\$ 9.900,00	R\$ 15.050,00	R\$ 185.200,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Utilizando a **Tabela 5**, foi realizada a construção de um gráfico comparativo dos dados apresentados. Esse gráfico é apresentado na **Figura 12**.

Figura 12 – Gráfico do custo de manutenção dos veículos elétricos

Fonte: Autoria própria (2022)

Analisando a **Tabela 5** e a **Figura 12**, pode-se perceber que o veículo elétrico a etanol é mais vantajoso que a versão a baterias em um período de utilização de 10 a 15 anos, porém, quando a idade dos veículos se aproxima dos 20 anos, o custo com manutenção do veículo elétrico a etanol sobe muito por conta da necessidade da troca da *fuell cell*, sendo mais vantajoso a compra de outro veículo após esse período.

Além das peças que os dois veículos possuem que são diferentes entre os modelos, apresentadas na **Tabela 4**, também existem outros custos com manutenções que são realizadas em ambos os veículos. Esses custos e o tempo até eles ocorrerem são apresentados na **Tabela 6**.

Tabela 6 – Custos equivalentes para ambos os veículos

Anos	2	4	6	8	10
Pneu	R\$ 0,00	R\$ 6.400,00	R\$ 6.400,00	R\$ 12.800,00	R\$ 12.800,00
Revisões	R\$ 1.212,28	R\$ 2.985,28	R\$ 4.026,56	R\$ 5.415,56	R\$ 7.188,56
Seguro	R\$ 6.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 18.000,00	R\$ 24.000,00	R\$ 30.000,00
Total	R\$ 7.212,28	R\$ 21.385,28	R\$ 28.426,56	R\$ 42.215,56	R\$ 49.988,56

Fonte: Toyota (2022)

6.3 Viabilidade Econômica

Analisando todos os custos envolvidos nos dois veículos pode-se utilizar a engenharia econômica e seus métodos para definir a viabilidade da implementação do veículo elétrico a etanol.

Para esse cálculo, foram utilizados dois cenários, um conservador, onde o preço de venda do veículo elétrico a etanol é igual ao apresentado na **Tabela 2**, e um otimista, onde o preço de venda da versão a etanol e a baterias é igual, algo que deve ocorrer no futuro com a comercialização da versão a etanol em larga escala, sendo esse preço igual ao valor apresentado para a versão a baterias na **Tabela 2**.

Para se realizar os cálculos de engenharia econômica foram utilizados três métodos, eles são o *payback*, o VPL (Valor Presente Líquido) e a TIR (Taxa Interna de Retorno).

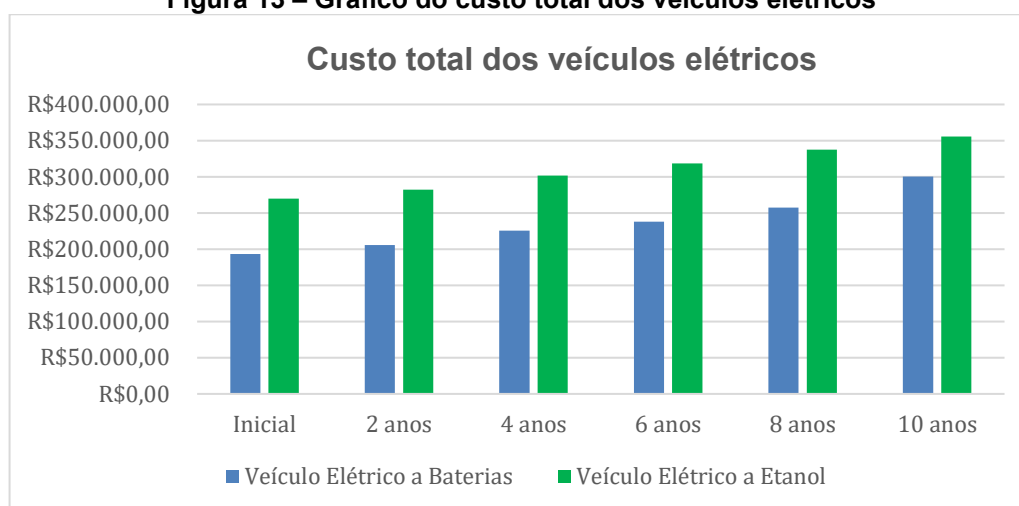
Para o cálculo de todos os métodos foi necessário primeiramente calcular o fluxo de caixa, para isso é necessário somar todos os custos apresentados anteriormente. Eles foram somados e posteriormente foram utilizados os métodos apresentados para verificar a viabilidade da utilização do veículo elétrico a etanol. Além dos custos já apresentados, o custo do IPVA foi zerado, pois em vários estados brasileiros o veículo elétrico é isento do pagamento desse imposto. A soma de todos os custos por ano é apresentada na **Tabela 7**.

Tabela 7 – Custo total dos veículos elétricos

	Inicial	2 anos	4 anos	6 anos	8 anos	10 anos
Veículo Elétrico a Baterias	R\$ 193.250,00	R\$ 205.922,28	R\$ 225.555,28	R\$ 238.056,56	R\$ 257.305,56	R\$ 300.538,56
Veículo Elétrico a Etanol	R\$ 270.000,00	R\$ 282.357,28	R\$ 301.675,28	R\$ 318.611,56	R\$ 337.545,56	R\$ 355.613,56

Fonte: Autoria própria (2022)

Utilizando a **Tabela 7**, foi realizada a construção de um gráfico comparativo dos dados apresentados. Esse gráfico é apresentado na **Figura 13**.

Figura 13 – Gráfico do custo total dos veículos elétricos

Fonte: Autoria própria (2022)

Para a venda dos veículos após a sua utilização, foi calculada uma desvalorização do veículo de 20% após dois anos da compra e posteriormente uma desvalorização de 5% ao ano. Utilizando o cálculo apresentado, tem-se que o preço de venda do veículo elétrico a baterias será de R\$ 102.564,80 e da versão a etanol de R\$ 143.298,81, após 10 anos de utilização.

Com os dados apresentados, pode-se calcular o fluxo de caixa no período de 10 anos. O fluxo de caixa do veículo elétrico a baterias é apresentado na **Tabela 8**, o fluxo de caixa do veículo elétrico a etanol no cenário conservador é apresentado na **Tabela 9** e o fluxo de caixa do veículo elétrico a etanol no cenário otimista é apresentado na **Tabela 10**. Com a utilização das três tabelas, também foi construído um gráfico comparativo do fluxo de caixa dos dois veículos, em ambos os cenários. O gráfico comparativo é apresentado na **Figura 14**.

Tabela 8 – Fluxo de caixa do veículo elétrico a baterias

Ano	Ganho	Fluxo de Caixa
Investimento inicial	0	-R\$ 193.250,00
1	-R\$ 6.162,28	-R\$ 199.412,28
2	-R\$ 6.510,00	-R\$ 205.922,28
3	-R\$ 6.339,00	-R\$ 212.261,28
4	-R\$ 13.294,00	-R\$ 225.555,28
5	-R\$ 6.339,00	-R\$ 231.894,28
6	-R\$ 6.162,28	-R\$ 238.056,56
7	-R\$ 6.510,00	-R\$ 244.566,56
8	-R\$ 12.739,00	-R\$ 257.305,56
9	-R\$ 6.894,00	-R\$ 264.199,56
10	R\$ 66.225,80	-R\$ 197.973,76

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 9 - Fluxo de caixa do veículo elétrico a etanol conservador

Ano	Ganho	Fluxo de Caixa
Investimento inicial	0	-R\$ 270.000,00
1	-R\$ 6.004,78	-R\$ 276.004,78
2	-R\$ 6.352,50	-R\$ 282.357,28
3	-R\$ 6.181,50	-R\$ 288.538,78
4	-R\$ 13.136,50	-R\$ 301.675,28
5	-R\$ 10.931,50	-R\$ 312.606,78
6	-R\$ 6.004,78	-R\$ 318.611,56
7	-R\$ 6.352,50	-R\$ 324.964,06
8	-R\$ 12.581,50	-R\$ 337.545,56
9	-R\$ 6.736,50	-R\$ 344.282,06
10	R\$ 131.967,31	-R\$ 212.314,75

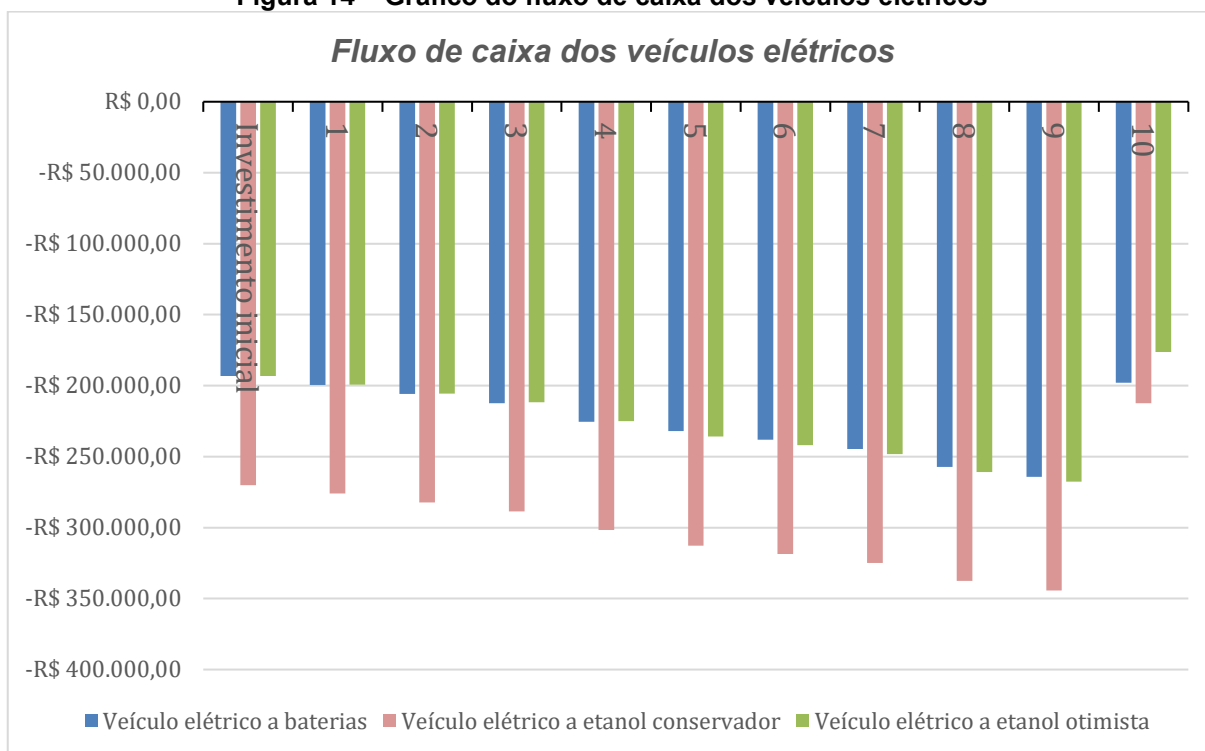
Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 10 - Fluxo de caixa do veículo elétrico a etanol otimista

Ano	Ganho	Fluxo de Caixa
Investimento inicial	0	-R\$ 193.250,00
1	-6004,78	-R\$ 199.254,78
2	-6352,5	-R\$ 205.607,28
3	-6181,5	-R\$ 211.788,78
4	-13136,5	-R\$ 224.925,28
5	-10931,5	-R\$ 235.856,78
6	-6004,78	-R\$ 241.861,56
7	-6352,5	-R\$ 248.214,06
8	-12581,5	-R\$ 260.795,56
9	-6736,5	-R\$ 267.532,06
10	R\$ 91.233,30	-R\$ 176.298,76

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 14 – Gráfico do fluxo de caixa dos veículos elétricos



Fonte: Autoria própria (2022)

6.3.1 Payback

O *payback* é o tempo necessário para retornar o valor investido. Para calculá-lo é necessário descontar do investimento inicial o valor acumulado do fluxo de caixa, no momento que o fluxo de caixa ultrapassar o valor do investimento inicial é considerado que o investimento foi pago. O tempo necessário a partir do investimento inicial até momento em que o fluxo de caixa é maior que o investimento inicial é o tempo de *payback*.

Para os dois veículos e em ambos os cenários o período de *payback* é apresentado na **Tabela 11**.

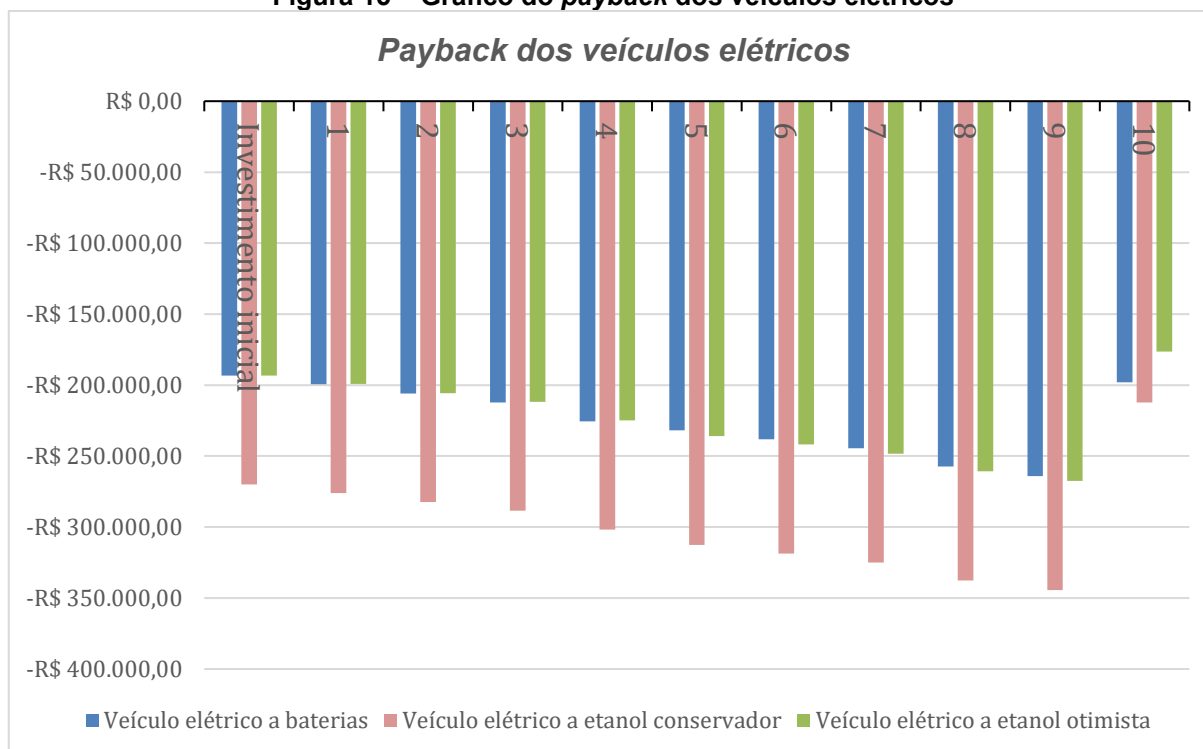
Utilizando a **Tabela 11**, foi construído um gráfico que representa o período de *payback*. Esse gráfico é apresentado na **Figura 15**. Nota-se que o gráfico apresentado na **Figura 15** é igual ao apresentado na **Figura 14**, já que o *payback* é uma análise do fluxo de caixa.

Tabela 11 – Payback dos veículos

	Veículo elétrico a baterias	Veículo elétrico a etanol conservador	Veículo elétrico a etanol otimista
Investimento Inicial	R\$ 193.250,00	R\$ 270.000,00	R\$ 193.250,00
Ano	Fluxo de caixa		
1	-R\$6.162,28	-R\$6.004,78	-R\$6.004,78
2	-R\$6.510,00	-R\$6.352,50	-R\$6.352,50
3	-R\$6.339,00	-R\$6.181,50	-R\$6.181,50
4	-R\$13.294,00	-R\$13.136,50	-R\$13.136,50
5	-R\$6.339,00	-R\$10.931,50	-R\$10.931,50
6	-R\$6.162,28	-R\$6.004,78	-R\$6.004,78
7	-R\$6.510,00	-R\$6.352,50	-R\$6.352,50
8	-R\$12.739,00	-R\$12.581,50	-R\$12.581,50
9	-R\$6.894,00	-R\$6.736,50	-R\$6.736,50
10	R\$66.225,80	R\$131.967,31	R\$91.233,30
Total	-R\$4.723,76	R\$57.685,25	R\$16.951,24
Período de Payback	Não ocorre	Não ocorre	Não ocorre

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 15 – Gráfico do payback dos veículos elétricos



Observa-se na **Tabela 11** e na **Figura 15** que os dois veículos, em ambos os cenários, não possuem um *payback*. Isso ocorre, pois, veículos, a não ser que sejam utilizados como meio de profissão, não apresentam um fluxo de caixa positivo, já que só são realizados gastos com os mesmos. O fluxo de caixa só se torna positivo no momento da venda do veículo, mas por conta dos gastos ao longo da utilização do mesmo e com a desvalorização ao longo do tempo, esse fluxo positivo é bem inferior ao custo inicial.

Ao se realizar a análise da **Tabela 11**, é possível verificar o fluxo de caixa de cada versão e verificar com qual se tem menos gastos, mas não é possível calcular o tempo de retorno do dinheiro, o principal motivo de se calcular o *payback*. Por esse motivo, o *payback* não é a melhor forma de comparar os veículos economicamente.

6.3.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Utiliza-se o VPL para definir o método de avaliação que expõe o valor do fluxo de retorno calculados e a taxa mínima de juros (TMA). Para chegar ao valor do VPL se compara ele ao TMA, juntamente com o custo inicial para a compra do veículo (VEIGA, 2020).

Com base no fluxo de caixa apresentado pode-se calcular o VPL usando a equação 06.

$$\sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+k)^t} \right) - I_0 \quad (06)$$

Onde:

FC_t = fluxo de caixa de cada período;

I₀ = Valor do Investimento inicial;

k = taxa de desconto ou TMA;

t = tempo escolhido

Tendo em vista que a inflação no Brasil nos últimos 10 anos, de outubro de 2012 até outubro de 2022, está acumulada em 81,42%, a TMA foi considerada como 8,142% ao ano para o cálculo do VPL (IBGE, 2022).

Com a aplicação da formula 06, calcula-se o VPL dos dois veículos. O VPL do veículo elétrico a baterias é apresentado na **Tabela 12**, o VPL do veículo elétrico a

etanol no cenário conservador é apresentado na **Tabela 13** e o VPL do veículo elétrico a etanol no cenário otimista é apresentado na **Tabela 14**. Com a utilização das três tabelas, também foi construído um gráfico comparativo do VPL dos dois veículos, em ambos os cenários. O gráfico comparativo é apresentado na **Figura 16**.

Tabela 12– VPL do veículo elétrico a baterias

Ano	Fluxo de entrada de caixa	Fator de juros de uma anuidade de valor presente	Valor presente
1	-R\$6.162,28	R\$1,08	-R\$5.698,32
2	-R\$6.510,00	R\$1,17	-R\$5.566,63
3	-R\$6.339,00	R\$1,26	-R\$5.012,31
4	-R\$13.294,00	R\$1,37	-R\$9.720,26
5	-R\$6.339,00	R\$1,48	-R\$4.285,97
6	-R\$6.162,28	R\$1,60	-R\$3.852,79
7	-R\$6.510,00	R\$1,73	-R\$3.763,75
8	-R\$12.739,00	R\$1,87	-R\$6.810,52
9	-R\$6.894,00	R\$2,02	-R\$3.408,17
10	R\$66.225,80	R\$2,19	R\$30.274,94
Valor presente de fluxos de entrada de caixa			-R\$17.843,78
Investimento Inicial			R\$193.250,00
Valor presente líquido (VPL)			-R\$211.093,78

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 13– VPL do veículo elétrico a etanol conservador

Ano	Fluxo de entrada de caixa	Fator de juros de uma anuidade de valor presente	Valor presente
1	-R\$6.004,78	R\$1,08	-R\$5.552,68
2	-R\$6.352,50	R\$1,17	-R\$5.431,95
3	-R\$6.181,50	R\$1,26	-R\$4.887,77
4	-R\$13.136,50	R\$1,37	-R\$9.605,10
5	-R\$10.931,50	R\$1,48	-R\$7.391,08
6	-R\$6.004,78	R\$1,60	-R\$3.754,32
7	-R\$6.352,50	R\$1,73	-R\$3.672,69
8	-R\$12.581,50	R\$1,87	-R\$6.726,32
9	-R\$6.736,50	R\$2,02	-R\$3.330,31
10	R\$131.967,31	R\$2,19	R\$60.328,48
Valor presente de fluxos de entrada de caixa			R\$9.976,27
Investimento Inicial			R\$ 270.000,00
Valor presente líquido (VPL)			-R\$260.023,73

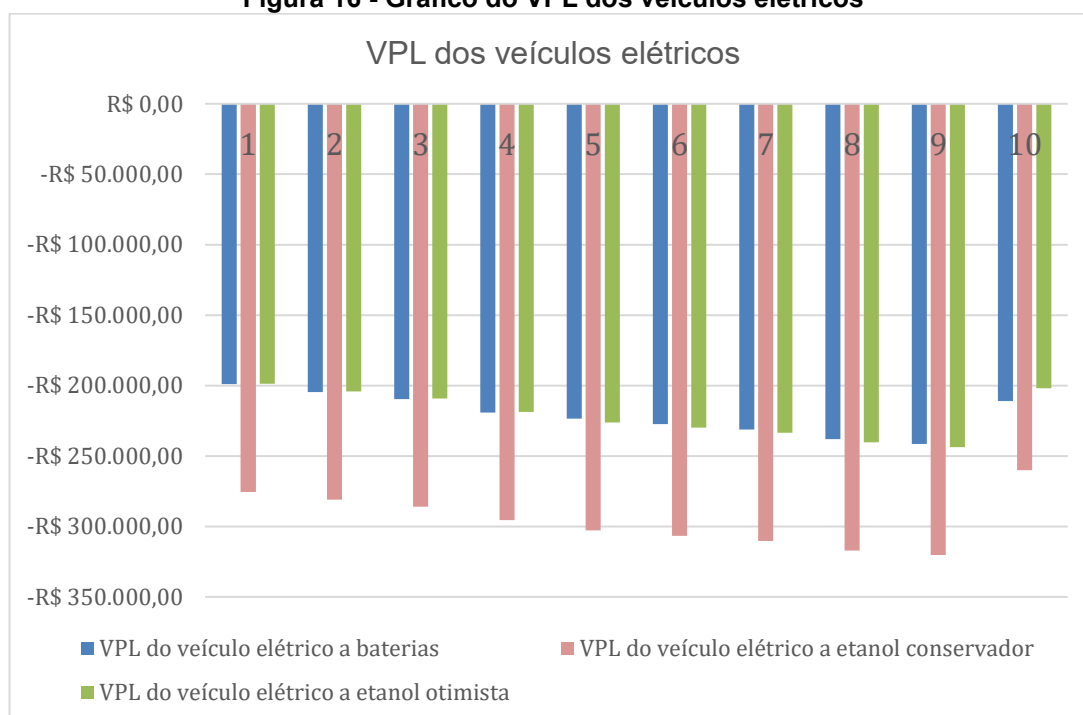
Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 14– VPL do veículo elétrico a etanol otimista

Ano	Fluxo de entrada de caixa	Fator de juros de uma anuidade de valor presente	Valor presente
1	-R\$6.004,78	R\$1,08	-R\$5.552,68
2	-R\$6.352,50	R\$1,17	-R\$5.431,95
3	-R\$6.181,50	R\$1,26	-R\$4.887,77
4	-R\$13.136,50	R\$1,37	-R\$9.605,10
5	-R\$10.931,50	R\$1,48	-R\$7.391,08
6	-R\$6.004,78	R\$1,60	-R\$3.754,32
7	-R\$6.352,50	R\$1,73	-R\$3.672,69
8	-R\$12.581,50	R\$1,87	-R\$6.726,32
9	-R\$6.736,50	R\$2,02	-R\$3.330,31
10	R\$91.233,30	R\$2,19	R\$41.707,04
Valor presente de fluxos de entrada de caixa			-R\$8.645,17
Investimento Inicial			R\$193.250,00
Valor presente líquido (VPL)			-R\$201.895,17

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 16 - Gráfico do VPL dos veículos elétricos



Fonte: Autoria própria (2022)

Com os resultados apresentados, percebe-se que no cenário conservador o veículo elétrico a etanol apresenta um VPL mais baixo que a versão a baterias, o que significa que ele é uma opção não tão atrativa economicamente, mesmo com a versão

a baterias apresentando um fluxo de caixa negativo e a versão a etanol um fluxo de caixa positivo.

Já no cenário otimista, percebe-se que a versão a etanol se torna mais atrativa economicamente do que a versão a baterias, isso ocorre por conta da redução do investimento inicial e mostra que o custo de utilização da versão a etanol é menor.

Se comparando os dois cenários, é possível concluir que no período de lançamento da versão a etanol o veículo não será atrativo economicamente por conta do alto valor de venda, mas com o passar dos anos esse custo inicial deve diminuir com a produção em massa, tornando a versão a etanol mais atrativa economicamente que a versão a baterias.

6.3.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Utiliza-se a TIR como instrumento de medição para definir a rentabilidade do investimento. Sendo assim, ela é utilizada para definir se um investimento é viável, mostrando se existirá um lucro futuro, com base no estudo do fluxo de caixa (VEIGA, 2020).

Como referência para análise da TIR deve-se utilizar o mesmo valor da TMA apresentada na seção 6.3.2, sendo ela de 8,142% ao ano. Caso o valor da TIR seja superior a TMA, o investimento no veículo é atrativo economicamente.

Para se realizar o cálculo da TIR utiliza-se a equação 07.

$$\sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \right) = I_0 \quad (07)$$

Onde:

FC_t = fluxo de caixa de cada período;

TIR = taxa interna de retorno

I₀ = Valor do Investimento inicial;

t = tempo escolhido

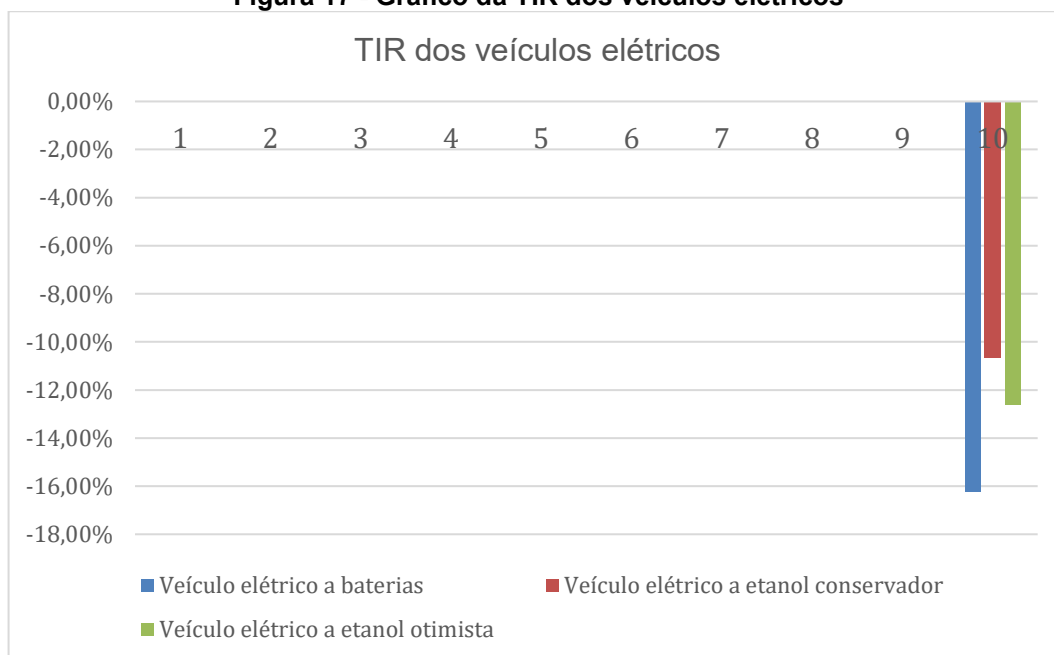
O valor encontrado para a TIR, após 10 anos, para os dois veículos, em ambos os cenários, é apresentado na **Tabela 15**.

Com a utilização da **Tabela 15** também foi construído um gráfico comparativo do TIR para os dois veículos, em ambos os cenários. O gráfico comparativo é apresentado na **Figura 17**.

Tabela 15 – Valor da TIR para os veículos

	Veículo elétrico a baterias	Veículo elétrico a etanol conservador	Veículo elétrico a etanol otimista
TIR	-16,25%	-10,69%	-12,61%

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 17 - Gráfico da TIR dos veículos elétricos

Fonte: Autoria própria (2022)

Observa-se na **Tabela 15** e na **Figura 17** que nenhum dos veículos, em ambos os cenários, é atrativo economicamente em comparação com a inflação no Brasil nos últimos 10 anos. Também é possível visualizar que, com a utilização da TIR, só é possível se obter um resultado após 10 anos, isso ocorre pois para o cálculo da TIR é necessário um fluxo de caixa positivo, o que só ocorre no décimo ano com a venda do veículo.

6.3.4 Análise da Viabilidade Econômica

Analisando os três métodos apresentados no capítulo, percebe-se que a melhor opção para uma comparação entre os veículos é por meio do VPL, pois ele é o único que possibilita uma análise comparativa entre os veículos com um fluxo de caixa negativo.

Observando os resultados apresentados neste capítulo, percebe-se que atualmente o veículo elétrico a etanol não tem uma projeção de chegar ao mercado com um preço acessível, entretanto os avanços tecnológicos podem trazer uma

diminuição do seu preço ao longo dos anos, assim como ocorre com a versão a baterias desde o seu lançamento até os dias atuais.

Outro ponto que pode tornar a versão a etanol mais atrativa do que a que funciona com baterias é seu custo de utilização mais baixo, já que a vida útil baixa das baterias acrescenta um custo de utilização muito alto para a versão a baterias.

As principais vantagens da versão a etanol, que tendem a atrair os consumidores, não estão relacionadas ao custo do carro, e sim a experiência do consumidor e o meio ambiente.

As vantagens para o consumidor são uma maior autonomia do veículo em comparação com a versão a baterias, já que é praticamente impossível percorrer grandes distancias com o veículo elétrico a baterias pela falta de pontos de abastecimento em cidades afastadas de grandes centros urbanos e pelo longo período de recarga das baterias, outra vantagem que tende a atrair clientes para a versão a etanol.

Segundo o chefe-geral do setor de Meio Ambiente da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e a União da Indústria de Cana-de-açúcar (Unica), o Brasil, maior produtor de etanol no mundo, tem a capacidade de dobrar a quantidade de etanol produzida na próxima década, passando de aproximadamente 27 bilhões de litros por ano para mais de 50 bilhões de litros por ano. Esse aumento expressivo é possibilitado pelas evoluções tecnológicas que tem aumentado a produtividade agrícola e da utilização de terras ociosas. Por esse motivo, o veículo elétrico a etanol tem a possibilidade de se desenvolver e aumentar a demanda de etanol sem impactar seu preço, o meio ambiente e o cultivo de outras plantas (BARRETO, 2022).

Já a versão a baterias sofre com a falta de energia elétrica mundial, visto que a demanda de energia elétrica tem aumentado e não existem grandes planos de expansão da matriz elétrica mundial, como relatado no capítulo 2. O resultado desse aumento de demanda é a utilização de fontes mais poluentes e mais caras de energia, como queima de carvão e gás natural para a geração de energia elétrica, resultando em mais poluição e um custo maior de utilização para os usuários da versão a baterias.

Em relação ao meio ambiente, o veículo elétrico a etanol é muito mais sustentável que a versão a baterias, já que emite uma quantidade praticamente nula de gás carbônico, enquanto o veículo elétrico a baterias utiliza a energia elétrica, que em muitos países é proveniente de fontes de energia não renováveis e poluentes, o

que os torna tão agressivos ao meio ambiente quanto os veículos a combustão. Além de que nenhum país no mundo possui uma matriz energética grande o suficiente para possuir uma frota de veículos 100% elétrica e não realizar a queima de combustíveis não renováveis para obter energia elétrica.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve o objetivo de apresentar a história, o funcionamento e as diferenças do veículo elétrico a baterias e do veículo elétrico a etanol. Além disso, o trabalho também teve o objetivo de apresentar um estudo técnico econômico dos dois veículos, mostrando a viabilidade econômica da implantação do veículo elétrico a baterias no mercado.

Analisando os resultados obtidos no trabalho, o veículo elétrico a etanol enfrentará uma resistência do mercado quando estiver disponível para compra por conta do seu preço de comercialização que tende a ser elevado, assim como ocorreu com a versão a baterias quando ela entrou no mercado. Porém, ao passar dos anos, o preço de venda do veículo tende a diminuir, assim como ocorre com a versão a baterias, tornando-o mais atrativo para seus usuários.

Como o preço de venda do veículo elétrico a etanol tende a afastar usuários, ele também possui características que tendem a atrair mais usuários, algo que ajudaria a aumentar a produção em larga escala logo no começo das vendas e ajudar a reduzir o seu custo em um menor intervalo de tempo.

As características que são atrativas ao consumidor são a praticidade para reabastecer seu tanque de combustíveis, pois se encontra postos de combustíveis em qualquer lugar do planeta com uma curta distância entre eles, não sendo um problema reabastecer o tanque. Diferente da versão a baterias, pois os pontos de recarga das baterias ainda são escassos e difíceis de encontrar, principalmente longe de grandes centros urbanos, resultando em uma baixa atratividade da versão a baterias para usuários que moram em cidades mais afastadas de grandes centros urbanos.

Outra característica da versão a etanol que tende a conquistar usuários é sua autonomia, que é cerca de 50% maior que a versão a baterias. Essa maior autonomia juntamente com o fácil reabastecimento, facilita a experiência do usuário para a realização de viagens e longos períodos de utilização sem necessitar de grandes paradas para reabastecimento, o que não ocorre com a versão a baterias, já que nos melhores cenários, é necessária uma hora para recarregar completamente as baterias.

Além das características funcionais da versão a etanol que se sobressaem em relação a versão a baterias, a parte ambiental também se destaca. Como apresentado no trabalho, o veículo elétrico a baterias emite quase 15 vezes menos gás carbônico por quilometro percorrido que a versão a baterias, considerando todo o

ciclo de vida do combustível e da energia elétrica utilizados pelos veículos. Essa diferença atrai usuários que buscam uma solução mais ecológica aos meios de transporte que são utilizados atualmente.

Com todos esses benefícios apresentados do veículo elétrico a baterias, pode-se esperar que ele se torne um modelo muito utilizado em um futuro não tão distante, ajudando a diminuir a emissão de gases do efeito estufa na atmosfera e tornando o planeta Terra mais sustentável.

O trabalho concluiu o seu objetivo, porém se limitou as informações disponíveis até o dado momento, podendo apresentar dados mais precisos em futuros trabalhos com o desenvolvimento do projeto do veículo e com a divulgação do preço de venda do mesmo, já que o veículo elétrico movido a etanol não possui um preço de venda já definido, apenas estimativas.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, percebe-se um potencial sustentável pouco divulgado e explorado. O veículo elétrico movido a etanol se mostrou um meio de transporte viável que terá sua aceitação no mercado de forma lenta, por conta dos altos custos iniciais, porém, provavelmente, será aceito por grande parte dos consumidores num futuro não distante.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Em pesquisas futuras, sugerimos a realização de uma comparação entre os dois veículos após o começo das vendas do veículo elétrico a etanol, assim poderá ser realizada uma análise da sua aceitação pelo mercado e uma comparação mais precisa do preço de venda do veículo, visto que hoje só se pode estimar o preço de venda do veículo.

REFERÊNCIAS

- ANP. **Levantamento de preços de combustíveis**. [S. l.], 19 ago. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/levantamento-de-precos-de-combustiveis-ultimas-semanas-pesquisadas>. Acesso em: 09 out. 2022.
- ATAIDE, Eduardo. **Baterias Recarregáveis**. 2010. Tese (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade São Francisco, Campinas, 2010.
- BARAN, Renato. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade**. 2012. Tese (Pós-Graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- BARRETO, Elis. **Produção de etanol no Brasil pode dobrar em uma década, aponta Embrapa**. [S. l.], 29 mar. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/producao-de-etanol-no-brasil-pode-dobrar-em-uma-decada-aponta-embrapa/>. Acesso em: 09 out. 2022.
- BIOFUELS INTERNACIONAL. **Nissan unveils ‘world’s first’ ethanol-powered electric car**. [S. l.], 5 ago. 2016. Disponível em: <https://biofuels-news.com/news/nissan-unveils-worlds-first-ethanol-powered-electric-car/>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz; BIAGGIO, Sonia. **Pilhas e Baterias: funcionamento e impacto ambiental**. São Paulo, 2000.
- BOHACKOVA, Tereza; LUDVIK, Jakub; KOURIL, Milan. **Metallic Material Selection and Prospective Surface Treatments for Proton Exchange Membrane Fuel Cell Bipolar Plates—A Review**. *Materials* **2021**, Praga, 20 maio 2021.
- BORGES, Rafaela. **Etanol x Elétricos**. [S. l.], 9 ago. 2021. Disponível em: <https://www.uol.com.br/carros/reportagens-especiais/etanol-x-eletricos/#cover>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- CESAR, Julio. **Veja os países que mais venderam carros eletrificados em 2021**. [S. l.], 8 fev. 2022. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/566059/paises-vendas-carros-eletricos-2021/#:~:text=Em%202019%2C%20foram%20%2C2,triplo%20de%20dois%20anos%20antes>. Acesso em: 11 jun. 2022.
- COPEL. **Tarifas de energia elétrica**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 09 out. 2022.
- DICKS, Andrew; RAND, David. **Fuel Cell Systems Explained**. Third Edition. ed. [S. l.]: John Wiley & Sons Ltd, 2018.
- FIAT. **Como carregar carro elétrico? Veja as opções e principais custos**. [S. l.], 6 maio 2022. Disponível em: <https://blog.deltafiat.com.br/como-carregar-carro->

NISHIMURA, Chiya; *et al.* Proton Exchange Membrane Fuel Cell Bipolar Plate Analyses by GD-OES and Raman. **Horiba Scientific**, [s. l.], 2020.

OLIVEIRA, Joaquim. **Baterias são a alma, mas também o grande gargalo do carro elétrico**. [S. l.]: Quatro Rodas, 26 jun. 2020. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/baterias-sao-a-alma-mas-tambem-o-grande-gargalo-do-carro-eletrico/>. Acesso em: 12 jun. 2022.

PASSOS, Eduardo. **Quais são os principais tipos de motores usados em carros elétricos?**. [S. l.]: Quatro Rodas, 28 out. 2021. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/quais-sao-os-principais-tipos-de-motores-usados-em-carros-eletricos/>. Acesso em: 12 jun. 2022

PICKERT, Lorena. **História da Tesla em 19 fotos: Inovação, Elon Musk e controvérsias**. [S. l.], 27 ago. 2019. Disponível em: <https://blog.aainovacao.com.br/historia-tesla>. Acesso em: 12 jun. 2022.

RAÍZEN. **Etanol: entenda o que é, para que serve e como é usado no Brasil!** [S. l.], 18 fev. 2022. Disponível em: [https://www.raizen.com.br/blog/etanol#:~:text=O%20etanol%20%C3%A9%20obtido%20majoritariamente,de%20primeira%20gera%C3%A7%C3%A3o%20\(E1G\)!](https://www.raizen.com.br/blog/etanol#:~:text=O%20etanol%20%C3%A9%20obtido%20majoritariamente,de%20primeira%20gera%C3%A7%C3%A3o%20(E1G)!.). Acesso em: 09 out. 2022.

SETO, J.L.. **How much does it cost to buy a hydrogen fuel cell vehicle?** [S. l.], 01 maio 2022. Disponível em: <https://www.motorbiscuit.com/cost-buy-hydrogen-fuel-cell-vehicle/>. Acesso em: 09 out. 2022.

SOARES, Vitor. **Estudo do descarte sustentável de baterias de lítio e de chumbo**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Centro Universitário Sagrado Coração, Bauru, 2021.

STANDAGE, Tom. **A Brief History of Motion**. [S. l.]: Bloomsbury Publishing, 2021.

TOYOTA, Parts. **Parts Center Online**. [S. l.], 09 out. 2022. Disponível em: <https://parts.toyota.com/>. Acesso em: 09 out. 2022.

VARGAS, Reinaldo; CHIBA, Rubens; FRANCO, Egberto; SEO, Emília. **Uma Visão da Tecnologia de Células a Combustível**. In: Congresso de administração da faculdade Alficastelo. 1, 2006, São Paulo. São Paulo, 2006.

VEIGA, Lenon Vieira. **Estudo de viabilidade econômica: uma análise de implantação de um hostel no município de Cabo Frio**. 2020. Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

VOLAN, Tainara; *et al.* **Carro Elétrico – Uma Análise Da Visão Do Consumidor**. In: Internacional Congress of Management, Technology And Innovation, 5, 2019, Erechim. [S. l.: s. n.], 2019.

WAN, Taotianchen; WANG, Yikai, 2022. **The Hazards of Electric Car Batteries and Their Recycling**. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1, 2022, China. [S. l.], 2022.

WILBERFORCE, Tabbi. Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. **International Journal of Hydrogen Energy**, [S. l.], p. 25695-25734, 31 ago. 2017.

WILSON, Lindsay. **Shades of Green: Electric Cars' Carbon Emissions Around the Globe**. [S. l.: s. n.], 2013.

ZHENG, Xuan. Novel "Rubber" electrolyte will be applied to long-lasting, safer future EV batteries. **Advanced Sensor and Energy Materials**, Wuhan, p. 1-5, 30 abr. 2022.