



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MURILO NOGUEIRA VASCO

**BREVE ABORDAGEM DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS CARROS 100%
ELÉTRICOS.**

Palmas -TO
2020

MURILO NOGUEIRA VASCO

**BREVE ABORDAGEM DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS CARROS 100%
ELÉTRICOS.**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de engenharia elétrica para obtenção do título de bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Me. Alex Vilarindo Menezes

Palmas -TO
2020

<https://sistemas.uft.edu.br/ficha/>

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

- V331b Vasco, Murilo Nogueira .
BREVE ABORDAGEM DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS CARROS
100% ELÉTRICOS. . / Murilo Nogueira Vasco. – Palmas, TO, 2020.
54 f.
- Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2020.
Orientador: Alex Vilarindo Menezes
1. CARROS ELÉTRICOS. 2. PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM
VEÍCULO MOVIDO À ELETRICIDADE. 3. PANORAMA ATUAL E
ALGUMAS LEGISLAÇÕES QUE LIMITAM A EMISSÃO DE POLUENTES.
4. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA . I. Título

CDD 621.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

MURILO NOGUEIRA VASCO

BREVE ABORDAGEM DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS CARROS 100% ELÉTRICOS.

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 03 / 08 / 2020

Banca Examinadora

Alex Vilarindo Menezes

Digitally signed by ALEX VILARINDO MENEZES:
01374778133
DN: C=BR, O=ICP-Brasil, OU=Secretaria de
Receita Federal do Brasil - RFB, OU=RFB e-CPF
A3, OU=EM BRANCO, OU=31230362000100,
CN=ALEX VILARINDO MENEZES.01374778133
Reason: TCC - UFT
Location: Palmas-TO
Date: 2020-08-05 15:04:34
Foxit Reader Version: 9.7.0

Prof. Me. Alex Vilarindo Menezes, UFT

Bianca C. Martins

Assinado digitalmente por Bianca
Carvalho
DN: OU=UFT, CN=Bianca Carvalho,
E=biancacm@uft.edu.br
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização: sua localização de
assinatura aqui
Data: 2020-08-05 21:12:21
Foxit PhantomPDF Versão: 9.7.2

Prof.^a Bianca Carvalho Martins, UFT

Gisele S P Marinho

Assinado digitalmente por Gisele S P Marinho
DN: OU=Engenharia Elétrica - Campus Palmas,
O=UFT - Universidade Federal do Tocantins,
CN=Gisele S P Marinho,
E=giselemarinho@uft.edu.br
Razão: Reconheço minha participação em banca
avaliadora do aluno Murilo Nogueira Vasco
Localização: Palmas - TO
Data: 2020-08-05 16:02:50
Foxit Reader/EDE Versão: 10.0.1

Prof.^a Me. Gisele Souza Parmezani Marinho, UFT

Palmas -TO
2020

RESUMO

Os veículos elétricos são vistos como uma alternativa futura para o ramo dos transportes, já que são descritos como uma tecnologia fundamental para a adaptação às novas legislações e mercados, garantindo o melhoramento da eficiência e do consumo de energia elétrica no setor de mobilidade. Entretanto o objetivo desta monografia é elaborar uma análise sucinta, utilizando-se de uma revisão bibliográfica e estudo de caso, que mostre a viabilidade econômica dos carros elétricos.

Palavras-chaves: Veículos. Elétricos. Análise. Mobilidade.

ABSTRACT

Electric vehicles are seen as a future alternative for the transport industry, as they are described as a fundamental technology for adapting to new legislation and markets, ensuring improved efficiency and consumption of electricity in the mobility sector. However, the objective of this monograph is to elaborate a succinct analysis, using a bibliographic review and case study, which shows the technical and economic viability of electric cars.

Keywords: Vehicles. Electrical. Analyze. Mobility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama 1 dos componentes básicos de um carro elétrico.	15
Figura 2 - Diagrama 2 dos componentes básicos de um carro elétrico.	16
Figura 3 - Diagrama de uma bateria chumbo/ácido.....	17
Figura 4 - Diagrama de uma bateria de lítio.....	18
Figura 5 - Esquemática da bateria de zinco.	19
Figura 6 – Evolução dos motores elétricos como o passar dos anos.	19
Figura 7 - Motores CC com escova.	20
Figura 8 - Motor gaiola de esquilo.....	21
Figura 9 - Diagrama de um motor PMSM radial.....	22
Figura 10 - Esquema de carregamento de um carro elétrico.	23
Figura 11 - Carregadores referentes aos modelos, Mercedes S400 BlueHYBRI (a) e Toyota Prius (b).	24
Figura 12 - Carregamento sem fio de um carro elétrico.	24
Figura 13 - POTBOX instalado em um carro elétrico.	25
Figura 14 - Esquemática do sistema de regeneração em um carro híbrido.	26
Figura 15 – Inversor da WEG CVW300 para tração elétrica (Veículos elétricos).	27
Figura 16 - Caixa de relés e sistema de controle do Toyota Prius respectivamente.....	28
Figura 17 – Gráfico com dados vendas dos principais mercados de veículos elétricos.	30
Figura 18 - Dados de vendas de alguns mercados de veículos elétricos.	30
Figura 19 - Relação Custo VS Densidade Para Baterias.	32
Figura 20 – Projeção de redução do custo de baterias lítio.	32
Figura 21 – Distribuição dos postos de carregamento público x privado.	33
Figura 22 - Eletro via na BR- 277 no estado do Paraná.....	34
Figura 23 - Palio weekend elétrico.	35
Figura 24 - Veículos elétricos da Hitech electric.	36
Figura 25 - Redução de Emissões Euro 1-6.	37
Figura 26 – Estados brasileiros com isenção de IPVA para VE’s.....	38
Figura 27 - Diagrama de eficiência de um motor a combustão interna.	41
Figura 28 - Diagrama Fluxo de Caixa.....	42
Figura 29 - Payback Tesla EV carga x diesel.....	43
Figura 30 - Cenário 1.	44
Figura 31 - Cenário 2.	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cronograma de atividades (2019/2020).	14
Quadro 2 - Estoque de veículos elétricos em alguns países.	30
Quadro 3 - Exemplos de incentivos para aquisição de veículos elétricos.	39
Quadro 4 - Custo EV Carga Tesla x Diesel.	43
Quadro 5 - Comparativo de valores e desempenho entre carros de mesma marca.	46
Quadro 6 - Comparativo entre Toyota Corolla e Nissan Leaf.	47
Quadro 7 - Quadro comparativo (Resumo).....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABVE	Associação brasileira de veículos elétricos
BEV	Veículo elétrico a bateria
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
Cu	Cobre
DETRAN	Departamento nacional de trânsito
EV	Veículo elétrico
EVSE	Estação de carregamento de veículos elétricos
H ₂ O	Água
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
km	Quilômetro
km/h	Quilômetro por hora
kWh	Quilo Watt hora
kVA	Quilo Volt Ampere
Li _x CoO ₂	Composto de lítio, cobalto e oxigênio
Li _y C ₆	Composto de lítio e carbono
Me.	Mestre
Pb	Chumbo
PbO ₂	Oxido de chumbo
PHEV	Automóvel híbrido plug-in
PIS	Programa de integração social
PROCONVE	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
Prof.	Professor
PWM	Controle de largura de pulso
RPM	Rotações por minuto
TCC	Trabalho de conclusão de curso
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TO	Tocantins
UFT	Universidade Federal do Tocantins
Zn(s)	Zinco sólido
Zn _{0,25} V ₂ O _{5,y} H ₂ O	Composto de zinco, Vanádio, oxigênio e água

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
e^-	Catodo
Li^+	Ânodo de lítio
$+Zn^{2+}$	Ânodo de zinco
Y	Ligação em estrela
Δ	Ligação em triangulo
US\$	Dólar
元	Moeda chinesa Renminbi
₹	Moeda Indiana Rúpia
¥	Moeda Japonesa Yuan
€	Euro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	12
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivos Específicos.....	12
1.3	Metodologia	13
1.3.1	Cronograma	13
2	PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM VEÍCULO MOVIDO À	
	ELETRICIDADE	15
2.1	Características Básicas	15
2.2	Baterias	16
2.2.1	Baterias Chumbo/ácido	16
2.2.2	Baterias de lítio	17
2.2.3	Baterias a base de zinco.....	18
2.3	Tipos de motores elétricos mais utilizados em veículos	19
2.3.2	Motores gaiola de esquilo.....	20
2.3.3	Motores PMSM (Permanent magnet synchronous motor).....	21
2.4	Sistemas de controle, operação e proteção	22
2.4.1	Carregadores de baterias.....	23
2.4.2	Sistema de controle de aceleração e frenagem para carros elétricos	25
2.4.3	Inversores e sistemas de segurança	27
3	PANORAMA ATUAL E ALGUMAS LEGISLAÇÕES QUE LIMITAM A	
	EMISSÃO DE POLUENTES	29
3.1	Panorama do mercado mundial de carros 100% elétricos	29
3.1.2	Infraestrutura para recarga das baterias	33
3.2	Panorama nacional	34
3.3	Legislações e programas	36
3.3.1	Algumas legislações aplicadas no mundo	36
3.3.2	Algumas legislações aplicadas no Brasil.....	37
3.3.3	Programa ROTA 2030.....	38
4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	39
4.1	Viabilidade econômica de projetos	39

4.1.1 Incentivos fiscais	39
4.1.2 Melhor aproveitamento dos recursos fósseis	41
4.2 Payback e fluxo de caixa infraestrutura para recarga	42
4.1.1 Payback e fluxo de caixa Infraestrutura para recarga.....	43
4.3 Comparativo carro elétrico vs carro a combustão.....	45
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

O interesse em veículos motorizados aumentou muito no século XIX e início do século XX. Naquela época havia cerca de duas vezes mais carros elétricos nas estradas do que carros movidos por combustíveis fósseis, o primeiro idealizador do veículo elétrico é indeterminado, já que diferentes criadores receberam crédito (CHAN, 2012).

Como exemplo temos o húngaro Ányos Jedlik, que em 1828 criou um veículo modelo em pequena escala movido por um motor elétrico que ele projetou. Já na década de 1830, Robert Anderson, da Escócia, inventou uma carruagem elétrica movida a eletricidade e em 1835, outro carro elétrico de pequena escala foi projetado pelo professor Stratingh, de Groningen, na Holanda, e construído por seu assistente Christopher Becker (RAMÍREZ; JIMÉNEZ, 2012).

A partir da década de 1920 o interesse em carros elétricos diminuiu, visto que os carros elétricos eram limitados por sua baixa velocidade e autonomia. Além disso, na década de 1910, o motor de arranque elétrico foi desenvolvido para carros, facilitando o funcionamento e a ignição dos carros com motores a combustão (CHAN, 2012).

Com a crise do petróleo em 1970, o interesse em carros elétricos aumentou novamente, impulsionado também por uma legislação ambiental mais rigorosa e, com isso, as empresas de automóveis começaram a projetar veículos elétricos, tendo como base fatores econômicos e ambientais. Os veículos elétricos passaram a serem vistos pelas grandes montadoras de carros como a melhor solução para uma futura substituição de veículos de motores a combustão interna, sendo elaborados muitos modelos como, veículos elétricos a bateria e veículos híbridos, que tem por definição o trabalho em conjunto de um motor a combustão e um motor elétrico (RAMÓN ROMERO *et al.*, 2009).

O avanço da eletrônica de potência revolucionou os motores elétricos, trazendo consigo vários modelos de veículos com desempenho bastante considerável. Com o melhoramento dos motores e baterias, os carros elétricos passaram a oferecer uma maior confiabilidade e melhor desempenho com custo mais reduzido, atualmente os carros elétricos são conhecidos como veículos amigáveis as novas legislações que limitam a emissão de gases poluentes, além dos veículos elétricos possuírem menos partes móveis e conseqüentemente menos manutenção, sendo também referência em eficiência energética e operação de forma silenciosa (BANSAL, 2005).

1.1 Justificativa

É natural procurar-se novas formas de gerenciar os suprimentos energéticos e, adicionalmente, tem-se a necessidade de melhorar o rendimento e o aproveitamento das máquinas para uma melhor utilização desses suprimentos. A partir dessa informação, a alta taxa de aproveitamento da energia útil para um carro faz com que o rendimento energético do motor elétrico seja superior aos motores de combustão interna. Além disso, os valores gastos na manutenção de motores a combustão são superiores aos custos de manutenção de um motor elétrico, pois o motor elétrico não possui uma grande variedade de peças móveis sujeitas à desgaste (FONTAÍNHAS, 2013).

Com as legislações que limitam a emissão de gases poluentes e levando em consideração os impactos ambientais da utilização em massa de veículos movidos por combustíveis fósseis, a introdução em larga escala de veículos elétricos no mercado é vista por uma grande parcela da indústria automobilística como uma alternativa promissora para atender essas demandas (SOUSA, 2015).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Elaborar um estudo abordando a viabilidade econômica de um carro impulsionado por motores elétricos, apresentando os principais pontos positivos e os desafios a serem enfrentados.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar um balanço das características básicas de um carro movido a eletricidade;
2. Elaborar uma análise sucinta relacionada ao mercado para este tipo de veículo (manutenção, vendas e preços);
3. Efetuar um estudo que aborda a eficiência energética, desempenho e autonomia.

1.3 Metodologia

Inicialmente foi realizado um levantamento de todo o material necessário, com finalidade de obter um embasamento teórico conveniente relacionado aos carros e veículos elétricos. Estas informações foram buscadas através de teses, dissertações, livros, artigos científicos e monografias.

A pesquisa foi realizada a fim de explicar e abranger o tema, sendo abordado itens como os principais componentes necessários para o funcionamento de um carro elétrico, as vantagens e limitações e a aplicabilidade deste tipo de veículo no mercado. Posteriormente, foi realizado um breve comparativo entre o carro elétrico e os carros convencionais, para isso foi utilizado quadros, gráficos e comparativos diretos através dos dados e informações coletadas, além de um levantamento de dados relacionados a emissão de poluentes e viabilidade econômica.

1.3.1 Cronograma

O cronograma detalhado deste trabalho está representado no quadro 1, as etapas se iniciaram em abril de 2019 e foram concluídas em julho de 2020.

Quadro 1 - Cronograma de atividades (2019/2020).

Atividades	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO
Definição do tema	X																
Determinação dos objetivos	X																
Revisão bibliográfica		X	X														
Introdução		X	X														
Metodologia		X	X														
Entrega TCC I			X														
Defesa de TCC I			X														
Correções				X												X	
Elaboração do TCC II					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Entrega do TCC II																	X
Defesa de TCC II																	X

Fonte: Autoria própria.

2 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM VEÍCULO MOVIDO À ELETRICIDADE

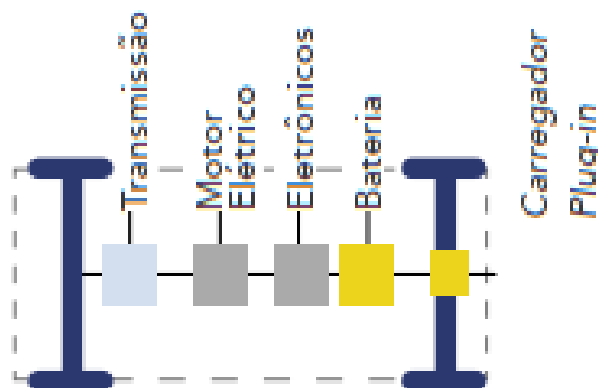
Este capítulo será constituído de uma revisão bibliográfica, relacionando os principais componentes de um carro movido à eletricidade.

2.1 Características básicas

O conceito de carro que utiliza eletricidade para mover-se é essencialmente simples, basicamente o veículo consiste em um carregador de baterias, um conjunto de baterias para armazenamento de energia elétrica, um motor elétrico e um controlador, como mostrado nos diagramas nas Figuras 1 e 2. Os motores elétricos diferentemente dos propulsores à combustão, utilizam a energia química armazenada nas baterias, para convertê-la em energia mecânica, possibilitando que o carro se mova. É importante destacar que nos casos como o de veículos elétricos que utilizam motores de corrente alternada faz-se necessário o uso de inversores de corrente, para converter corrente contínua das baterias em alternada para alimentar o propulsor (HELMERS; MARX, 2012).

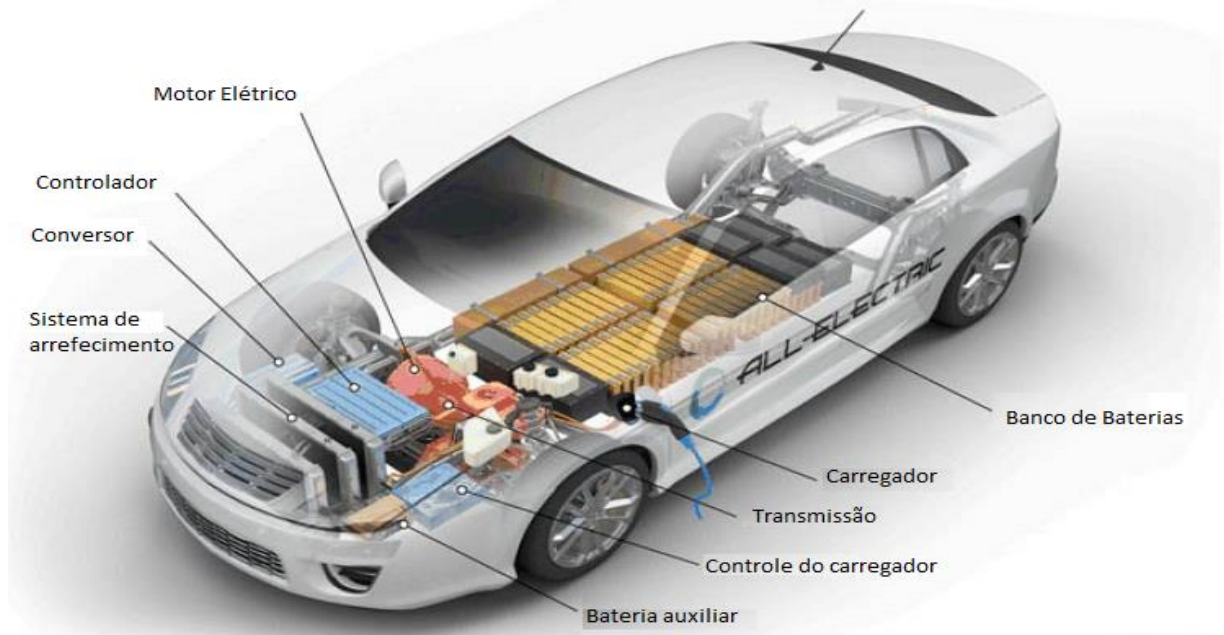
A estrutura de um carro elétrico é mais simples quando comparado aos veículos convencionais de motor a combustão, já que não há sistema de motor de partida, escape ou lubrificação e principalmente sem caixa de câmbio e, sendo que na maioria das vezes, nem mesmo um sistema de refrigeração é necessário. Os carros elétricos são denominados veículos de zero emissão por não serem poluentes, ou seja, não emitem quaisquer gases nocivos ou ruídos consideráveis, pois os motores elétricos são mais silenciosos que os motores de combustão (LARMINIE; LOWRY, 2003).

Figura 1 - Diagrama 1 dos componentes básicos de um carro elétrico.



Fonte: Adaptado de (DELGADO,2017).

Figura 2 - Diagrama 2 dos componentes básicos de um carro elétrico.



Fonte: adaptado de (SCHMIDT, 2019).

2.2 Baterias

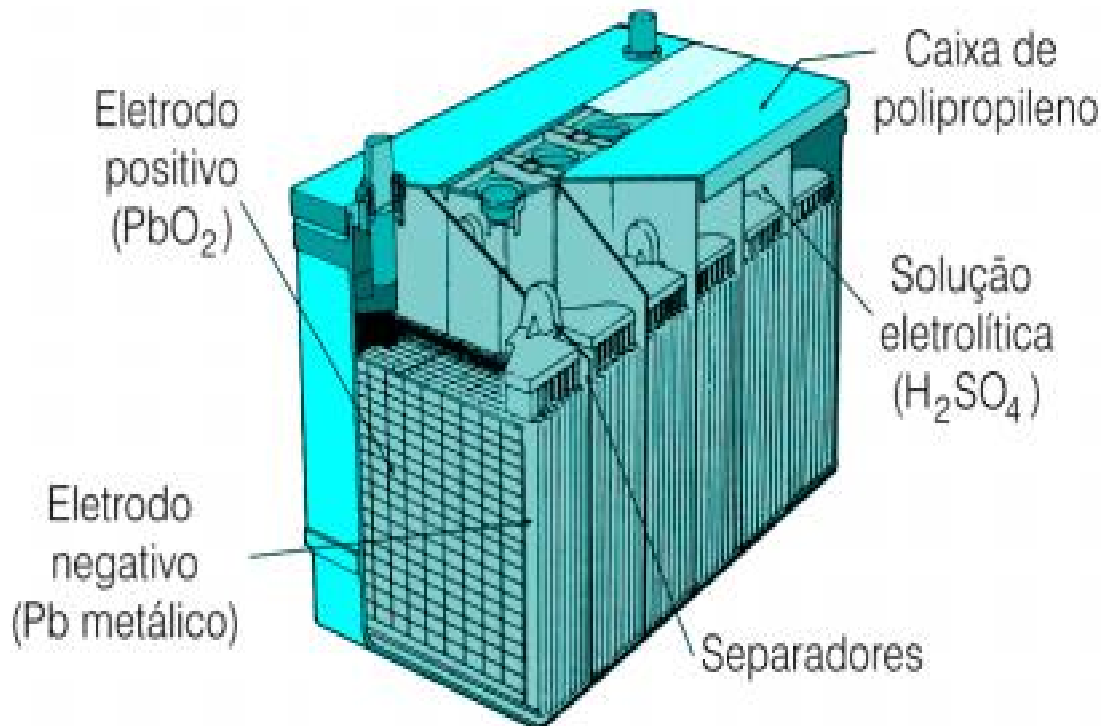
Veículos 100% elétricos usam apenas a energia das baterias, conseqüentemente, sua autonomia depende apenas da capacidade da bateria. Isso faz com que os veículos elétricos precisem de um grande banco de baterias, o que aumenta o preço e o peso final do produto. Por outro lado, as baterias mais utilizadas em carros elétricos são de simples construção mecânica e o que possibilita a reciclagem de seus componentes (RAMÍREZ; JIMÉNEZ, 2012).

2.2.1 Baterias Chumbo/ácido

Atualmente, as baterias recarregáveis que dominam o mercado mundial são as de chumbo/ácido. As baterias de chumbo/ácido são os modelos mais tradicionais no mercado, nessas baterias os eletrodos de chumbo são envolvidos em um catodo ácido, onde dióxido de chumbo reage com ácido sulfúrico durante o processo de descarga produzindo sulfato de chumbo e água, como apresentado na Figura 3 (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

Apesar de ser uma tecnologia relativamente antiga, atualmente ainda é possível equipar veículos elétricos com baterias de chumbo-ácido. Devido às características técnicas, a gama destes veículos é entre 120 e 200 km, o que os torna insuficientes para viagens longas, sendo que o tempo para recarregar varia de 30 minutos a 6 horas, dependendo do modo de recarga (HELMERS; MARX, 2012).

Figura 3 - Diagrama de uma bateria chumbo/ácido.



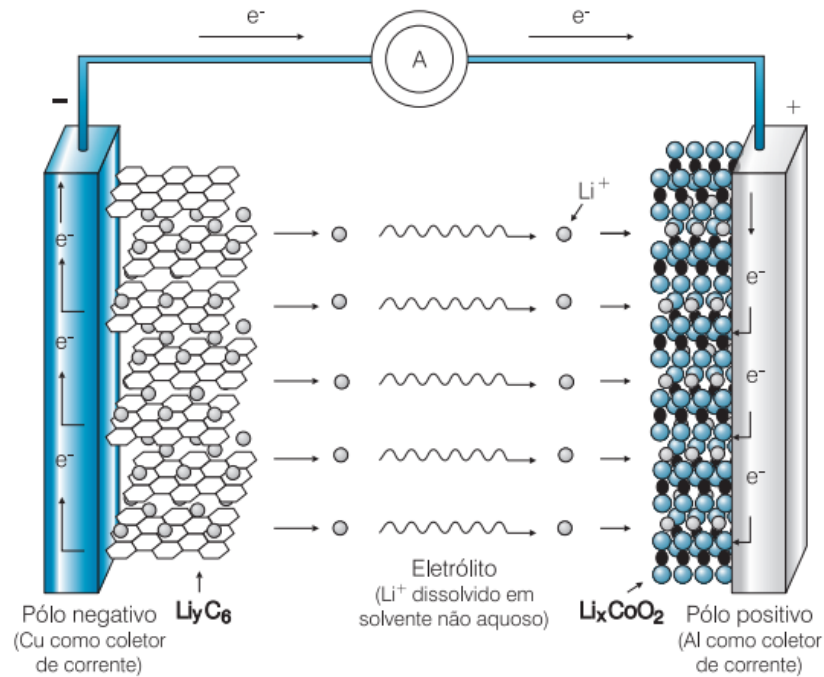
Fonte: (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

2.2.2 Baterias de lítio

As baterias de lítio oferecem uma quantidade de carga maior que as das baterias de chumbo e causam um menor dano ambiental no descarte, atualmente é bastante utilizada no cotidiano, sendo que os preços estão reduzindo nos últimos anos. As baterias de lítio são amplamente utilizadas em smartphones, computadores portáteis e na maioria dos carros elétricos (AMIRAULT *et al.*, 2009).

Esse modelo de bateria como o apresentado na Figura 4, utiliza íons de lítio presentes no eletrólito na forma de sais dissolvidos em solventes não aquosos. Durante o processo de descarga, os íons lítio migram desde o interior do material que compõe o anodo até dentro do material do catodo e os elétrons movem-se através do circuito externo (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

Figura 4 - Diagrama de uma bateria de lítio.



Fonte: Adaptado de (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

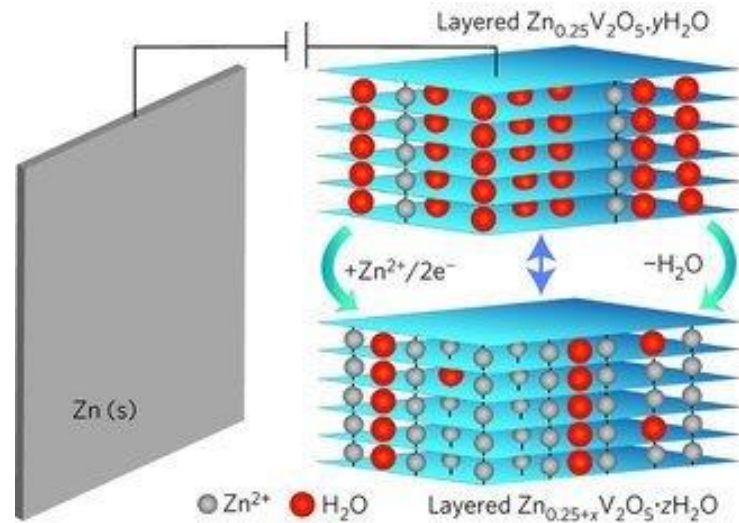
2.2.3 Baterias à base de zinco

É importante destacarmos também as baterias recarregáveis à base de zinco, que podem armazenar uma quantidade de energia equivalente as de íons de lítio, além de serem mais seguras por não se incendiarem com tanta facilidade, são mais baratas, menores e mais leves quando comparadas as baterias de lítio e de chumbo. Estudos mostram que baterias de zinco podem ser usadas em veículos elétricos leves, como bicicletas elétricas, motos e carros elétricos, atualmente pesquisadores estão testando agressivamente essas baterias, explorando a expansão dessa tecnologia (CHOI, 2017).

Quando se trata de veículos elétricos, as novas baterias de zinco podem ser de 30 a 50% mais baratas do que os sistemas comparáveis de íons de lítio. As Baterias de lítio tornaram-se famosas por incidentes de segurança resultantes de superaquecimento, as vezes explodindo em chamas, as baterias à base de zinco não apresentam o mesmo risco de incêndio associado as baterias de íons de lítio e podem ultrapassá-las em termos de energia específica e densidade de energia, além do zinco ser mais barato e amplamente disponível (CHOI, 2017).

A seguir na Figura 5 é mostrado a esquematização para o funcionamento de uma bateria de zinco.

Figura 5 - Esquemática da bateria de zinco.



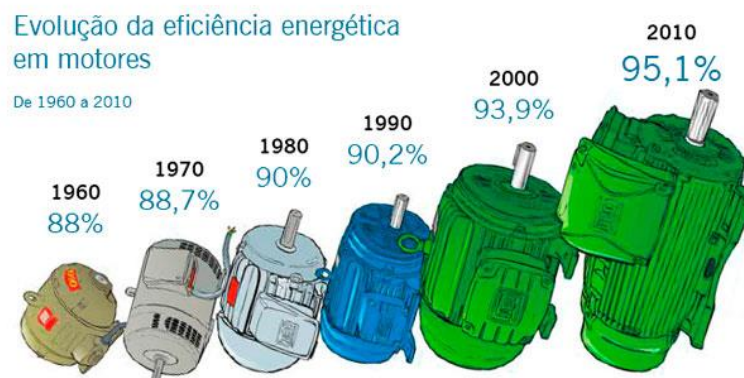
Fonte: (INOVAÇÃO..., 2016).

2.3 Tipos de motores elétricos mais utilizados em veículos

Os motores elétricos evoluíram com o passar dos anos (como mostra a Figura 6), tornando-se assim ideais para alimentar carros. Eles são leves e extremamente poderosos, atingem eficiências acima de 90%, não precisam de transmissões complexas e produzem o torque da maneira certa, fornecendo força rotacional completa a partir de zero RPM (RIBA *et al.*, 2016).

Motores elétricos que equipam os sistemas de propulsão de veículos elétricos, geralmente requerem características diferentes daquelas comumente usadas em processos industriais. Diferentemente de uma indústria ou fábrica os veículos elétricos executam partidas e paradas frequentes, precisando de uma alta taxa de aceleração para inicialização rápida e capacidade de trabalhar em ambientes agressivos (RIBA *et al.*, 2016).

Figura 6 – Evolução dos motores elétricos como o passar dos anos.



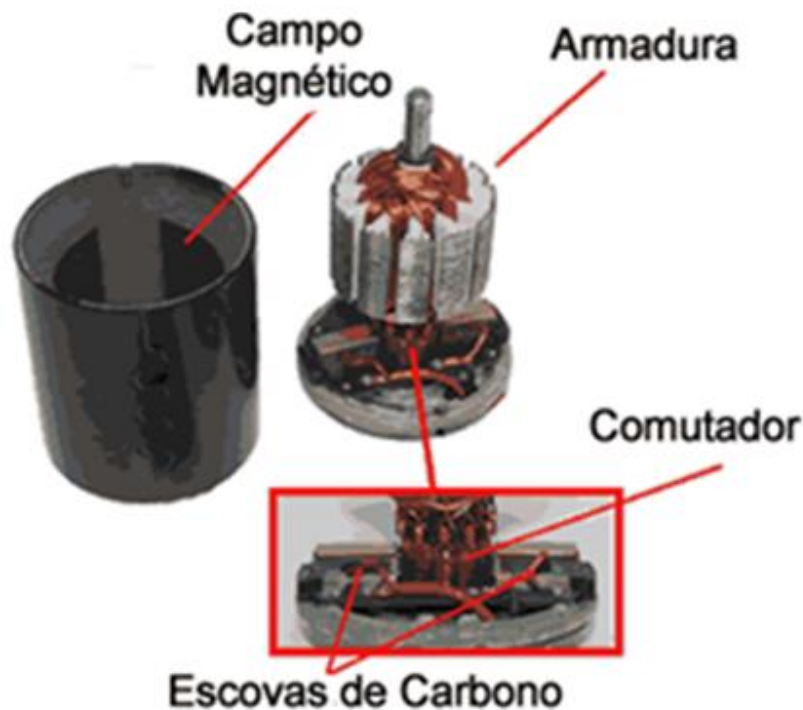
Fonte: (LOURENÇO, 2015).

2.3.1 Motores síncronos e escovados

Motores síncronos e escovados de corrente contínua, como ilustrado na Figura 7 foram amplamente utilizados em aplicações industriais de velocidade variável antes do desenvolvimento e implementação da eletrônica de potência. No entanto, eles foram sendo substituídos por motores de corrente alternada em muitas aplicações, tais como nos carros elétricos (RIBA *et al.*, 2016).

No final dos anos de 1990 alguns carros elétricos comerciais eram alimentados por motores de corrente contínua, por exemplo Renault Express e Renault Clio, entretanto os motores escovados e síncronos de corrente contínua, caíram em desuso em veículos elétricos por não atenderem de forma eficiente os requisitos de densidade de potência para sistemas de propulsão de carros elétricos (RIBA *et al.*, 2016).

Figura 7 - Motores CC com escova.



Fonte: (BERTULUCCI SILVEIRA, 2017).

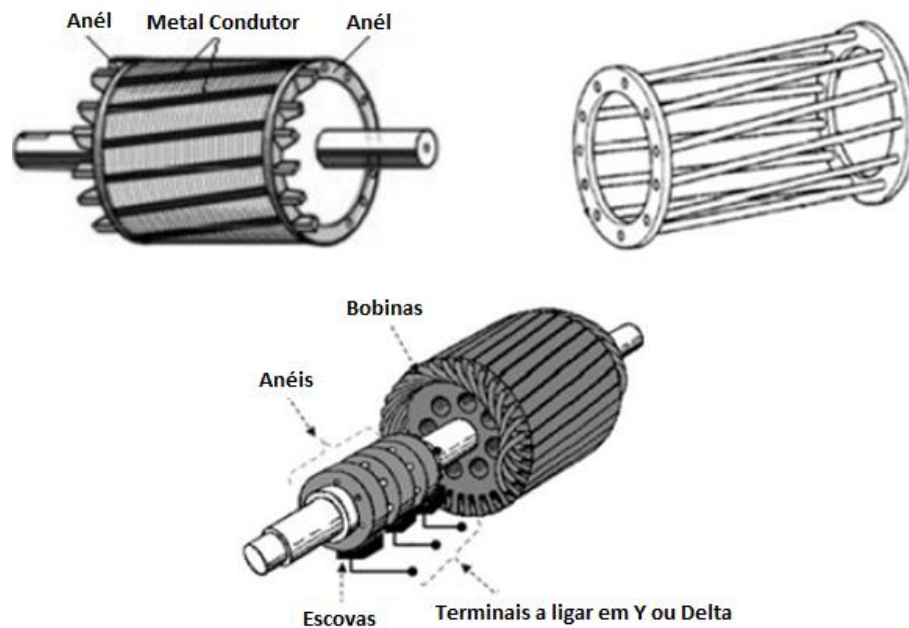
2.3.2 Motores gaiola de esquilo

Já os “motores gaiolas de esquilo” são máquinas de corrente alternada sem escova (Figura 8), amplamente utilizados em aplicações industriais e para sistemas de propulsão elétrica. Por oferecerem simplicidade, baixo custo, confiabilidade, robustez, pouca necessidade

de manutenção e capacidade de operar em ambientes agressivos, os motores “gaiola de esquilo” estão sendo usados em alguns veículos comerciais como o Tesla modelo S, Tazzari Zero, Mercedes-Benz Classe B, Mahindra e2o e Toyota RAV4 (DORRELL *et al.*, 2010).

Os motores “gaiola de esquilo” são máquinas assíncronas, isto é, a velocidade do campo rotativo gerado pelo estator, enrolamentos e a velocidade do rotor são diferentes. Estes motores têm uma estrutura simples se comparado a outros tipos de motores elétricos, o que facilita a fabricação (DORRELL *et al.*, 2010).

Figura 8 - Motor gaiola de esquilo.



Fonte: Adaptado de (ENGENHEIRO..., 2015).

2.3.3 Motores PMSM (Permanent magnet synchronous motor)

Os motores de corrente alternada PMSM (Permanent magnet synchronous motor) possuem um rotor de ímã permanente (Figura 9). Esse tipo de máquina é uma evolução dos motores síncronos de rotor enrolado, nas quais os enrolamentos do rotor, escovas e anéis coletores são substituídos por ímãs permanentes, o estator de um PMSM é muito semelhante ao da máquina de indução (SERGEANT; BOSSCHE, 2013).

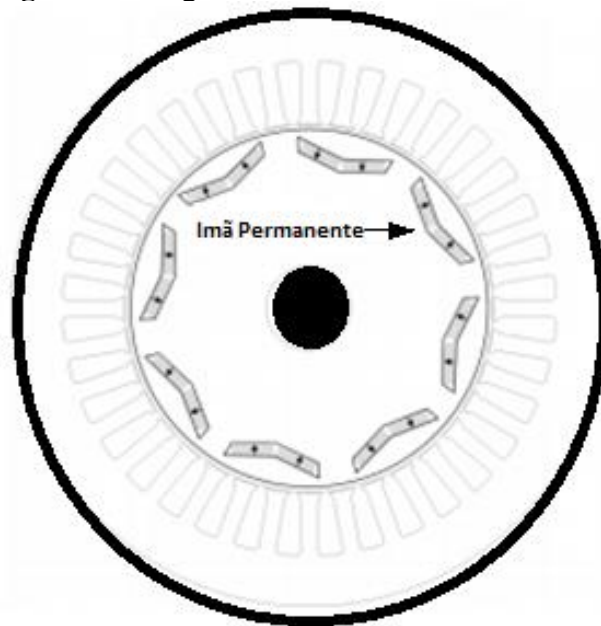
Os PMSMs têm sido amplamente aplicados em sistemas de propulsão de carros elétricos, no entanto, na maioria das aplicações são usados ímãs de terra rara por causa de suas propriedades magnéticas superiores, já que pode ser projetado com uma menor massa. É importante citar que os PMSMs de terras raras têm recursos importantes como altas densidades

de potência e torque, velocidade síncrona, alta eficiência, controle de torque preciso ou operação com pouca manutenção (SERGEANT; BOSSCHE, 2013).

No entanto, os PMSMs apresentam algumas desvantagens, como a escassez de materiais que dificulta sua produção em larga escala. Esse tipo de material também está sujeito a compartilhar os mesmos problemas de todo ímã como os campos limitados e problemas de desmagnetização induzidos por impactos mecânicos e aumentos de temperatura (SERGEANT; BOSSCHE, 2013).

Atualmente, uma variedade de modelos de carros elétricos comerciais é impulsionada por PMSM que utilizam ímas de terra rara, alguns exemplos são o BMW i3, Nissan Leaf, Volkswagen e-Golf, Mitsubishi i-MiEV, Volkswagen e-UP, Citroën C-Zero, Peugeot iOn, Citroën Berlingo Electric, Ford Focus Eléctrico, Fiat 500e, Bolloré Bluecar, Chevrolet Spark EV, Kia Soul EV (RIBA *et al.*, 2016).

Figura 9 - Diagrama de um motor PMSM radial.



Fonte: Adaptado de (RIBA *et al.*, 2016).

2.4 Sistemas de controle, operação e proteção

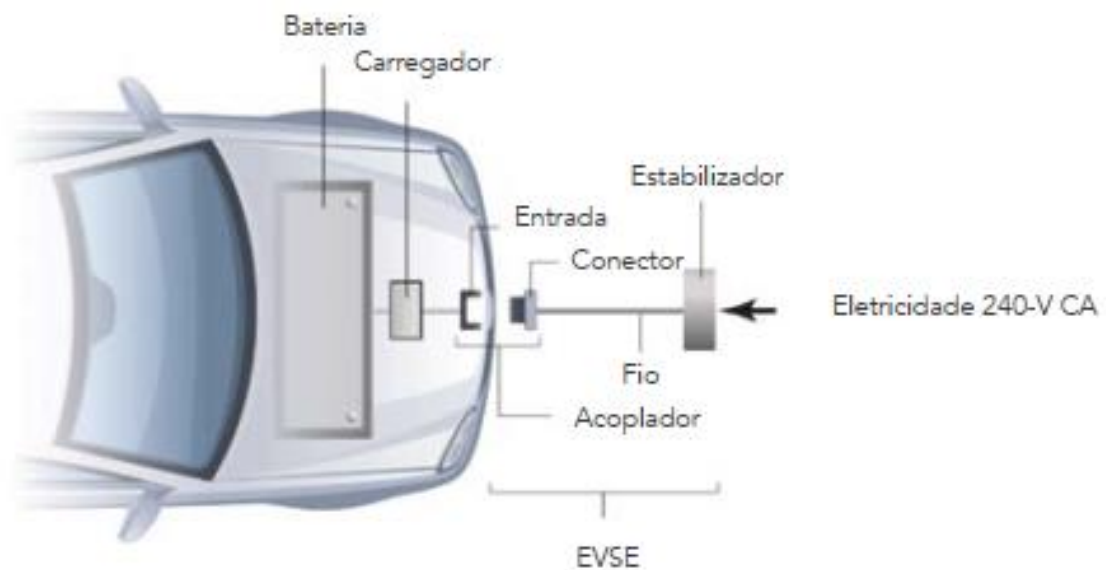
Como principais componentes de controle, operação e proteção de um carro elétrico, temos os: carregadores de bateria; sistema de controle de aceleração e frenagem, sistema de disjuntores, relé, caixa de fusíveis e inversores.

2.4.1 Carregadores de baterias

Um requisito crucial para a utilização em massa do carro elétrico é uma infraestrutura para recarga de baterias, levando em consideração que, sem ter onde carregar o veículo, o usuário sente-se restrito e menos disposto a aderir a esta nova tecnologia. Portanto, há uma relação direta e proporcional entre a inserção e a quantidade de veículos elétricos no mercado e o tipo de infraestrutura desenvolvida (DELGADO, 2017).

Os veículos elétricos são reabastecidos através de conectores (como mostrado na Figura 10), condutores e outros componentes associados, esses equipamentos são plugados em uma porta carreadora do veículo e fornecem eletricidade para carregar a bateria do veículo, como mostrado na Figura a seguir. As baterias utilizadas em carros elétricos necessitam ser carregadas com corrente contínua, como a rede elétrica fornece uma corrente alternada, um carregador também deve atuar como um inversor (DELGADO, 2017).

Figura 10 - Esquema de carregamento de um carro elétrico.



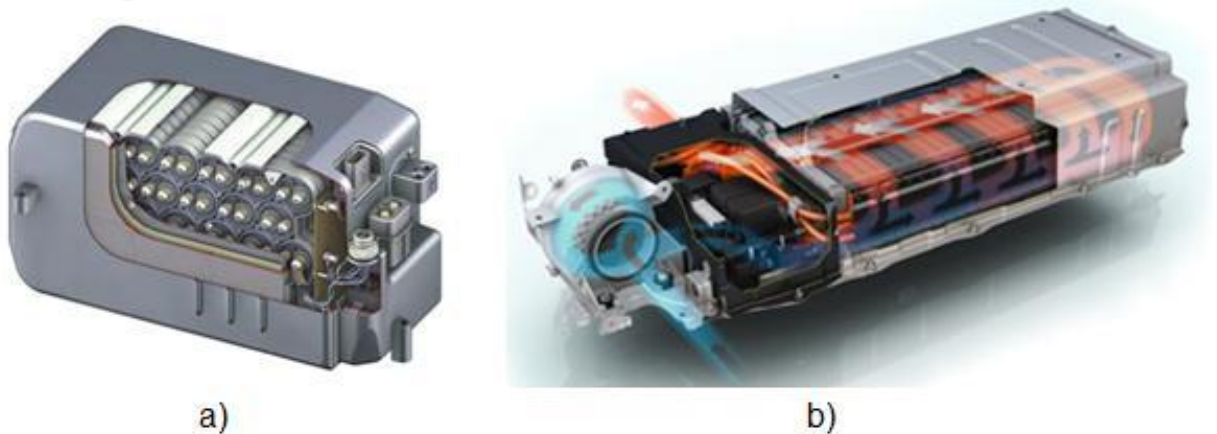
Fonte: Adaptado de (DELGADO, 2017).

Uma recarga rápida é vital para não perder muito tempo durante um deslocamento, no entanto quanto mais rápida for a carga, menor poderá ser o tempo de vida das baterias, conforme a tecnologia utilizada nelas. Um bom carregador é crucial para o desempenho de um veículo elétrico (FREITAS, 2012).

Vale ressaltar que quanto mais rápida for a carga, maior será a quantidade de calor produzida nas baterias, esse calor gerado degrada a bateria e reduz o seu tempo de vida útil.

Entretanto algumas baterias possuem sistemas de arrefecimento de forma a minimizar o problema das cargas rápidas, em alguns casos a bateria é arrefecida com o sistema de ar condicionado do próprio carro, através de um evaporador, como por exemplo o sistema do Toyota Prius e do Mercedes S400 BlueHYBRI apresentados na Figura 11 (FREITAS, 2012).

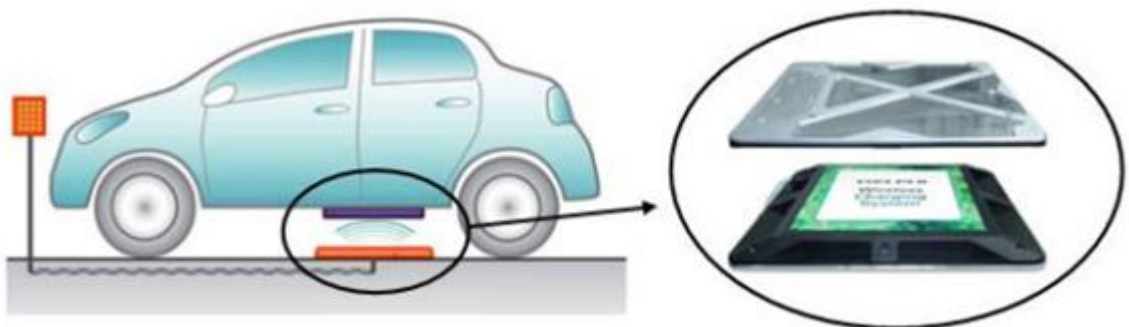
Figura 11 - Carregadores referentes aos modelos, Mercedes S400 BlueHYBRI (a) e Toyota Prius (b).



Fonte: Adaptado de (FREITAS, 2012).

Outro tipo de tecnologia de carregamento de bateria, como os carregadores sem fio (por indução como mostrado na Figura 12), que é comumente visto em eletrônicos como smartphones, também está sendo aplicada nos veículos 100% elétricos (DELGADO, 2017). Esse tipo de carregador geralmente é colocado no pavimento de estacionamentos, sendo que a estimativa de tempo para uma carga considerável nas baterias utilizando esse tipo de sistema pode variar de aproximadamente 80 minutos a 12 horas.

Figura 12 - Carregamento sem fio de um carro elétrico.



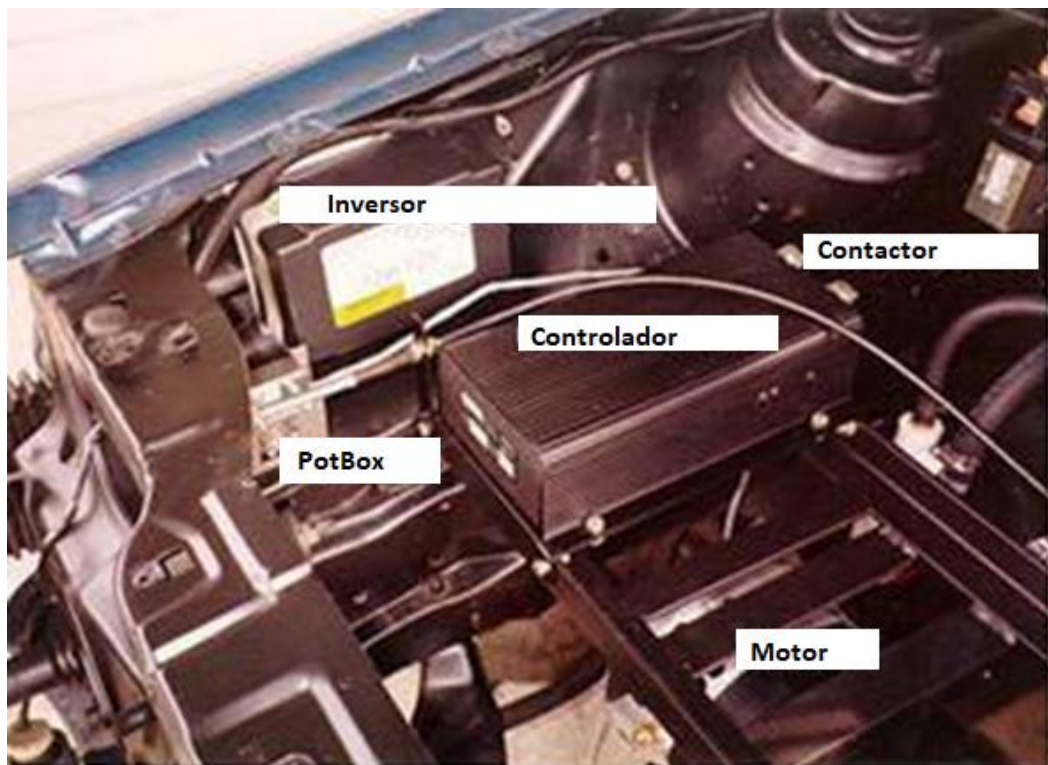
Fonte: Adaptado de (FREITAS, 2012).

2.4.2 Sistema de controle de aceleração e frenagem para carros elétricos

O controlador de velocidade é crucial para a eficiência e bom funcionamento do carro elétrico, os controladores de velocidade são classificados de acordo com as faixas de voltagem, amperagem, largura do pulso e modulação (PWM). Os controladores de motores, trabalham pulsando corrente e potência que serão entregues ao motor (RUEDA, 2014).

Entre esses sistemas é importante citar o elemento *potbox* (Figura 13) que é a interface entre o pedal do acelerador e o controlador de velocidade, atuando como um mensageiro que envia um sinal de resistência variável ao controlador para especificar a quantidade de potência a ser liberada para o motor. Vale ressaltar também que esta interface vem com muitos recursos de segurança, como interruptores de emergência que tem a função de evitar uma possível aceleração não intencional (BANSAL, 2005).

Figura 13 - POTBOX instalado em um carro elétrico.

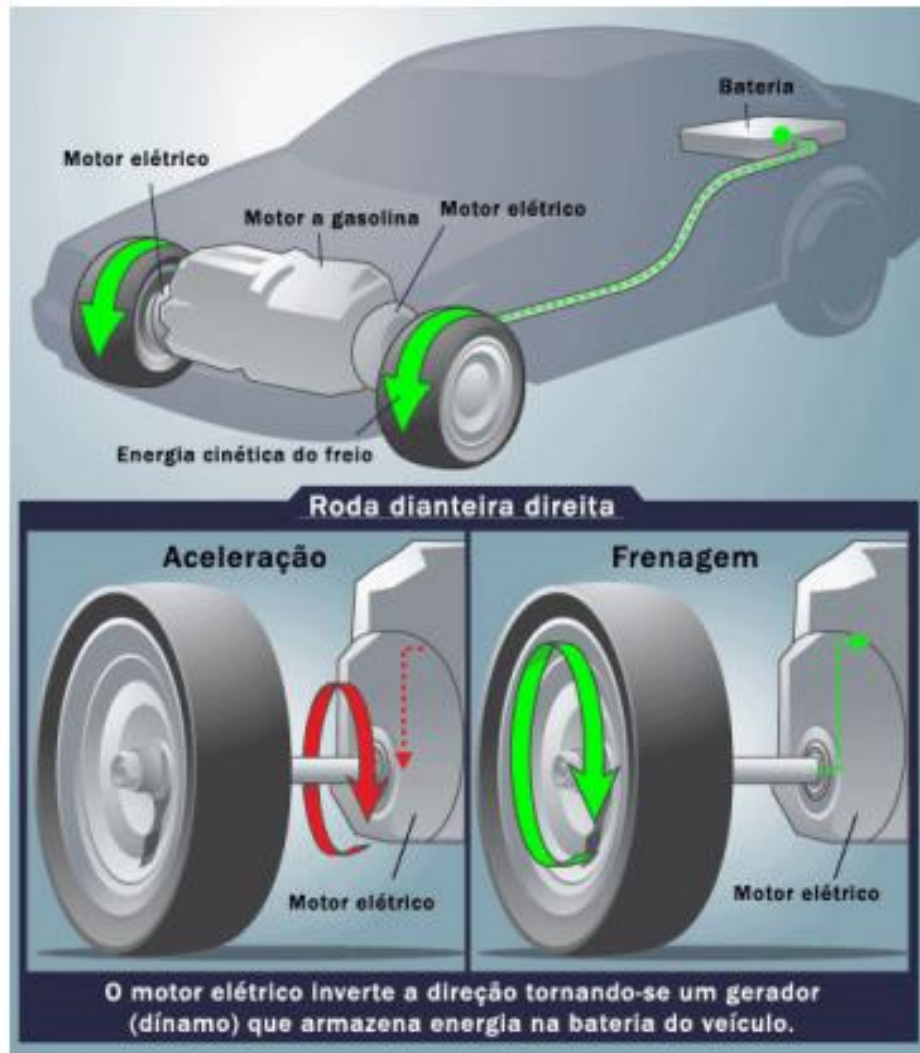


Fonte: Adaptado de (UM POUCO..., 2009).

Outro elemento que merece destaque é o freio regenerativo, já que é um mecanismo de recuperação de energia no momento da frenagem que produz um contra torque no eixo de um motor elétrico, causando a diminuição da velocidade de um veículo. Seu princípio de funcionamento é baseado na conversão de energia cinética em energia elétrica, que geralmente

é armazenada nas baterias, como mostrado na Figura 14 (DA ROCHA; ALBERTON; DE OLIVEIRA, 2014).

Figura 14 - Esquemática do sistema de regeneração em um carro híbrido.



Fonte: adaptado de (DA ROCHA; ALBERTON; DE OLIVEIRA, 2014).

O processo de frenagem regenerativa permite a um veículo reaproveitar a energia cinética que seria convertida em calor, por meio do atrito (nas lonas ou discos nas rodas). Basicamente, no momento da frenagem os motores elétricos de tração atuam como um dínamo (DA ROCHA; ALBERTON; DE OLIVEIRA, 2014).

Também é válido levar em consideração o conceito de que a recuperação de energia durante a desaceleração também ocorre em outras situações e não somente quando o condutor aciona o pedal de freio, o processo de frenagem regenerativa também se inicia no momento que o condutor retira o pé do acelerador com o veículo em movimento. Um veículo pode estar acelerando sem a necessidade de gastar energia, ou seja, mesmo sem o tracionamento do

conjunto motriz, como em um declive por exemplo, neste caso é a energia chamada de potencial que está sendo convertida em cinética e em paralelo sendo convertida também em energia elétrica para a bateria (JUNIOR, 2014).

2.4.3 Inversores e sistemas de segurança

Os inversores de corrente (mostrado na Figura 15) têm o papel de converter corrente contínua em alternada, ou vice-versa. Esta aplicação é bastante útil quando utilizada em carros elétricos, já que no geral a energia elétrica armazenada nas baterias é CC e os sistemas de propulsão geralmente estão configurados em CA.

Geralmente os inversores aplicados na indústria são de alta potência, e projetados para ambientes específicos, com refrigeração apropriada, além disso as cargas geralmente operam a velocidade constante. Porém os inversores aplicados aos veículos são exclusivamente de velocidade variável e devem suportar vibrações e variações de temperatura, portando estes dispositivos aplicados em carros elétricos devem ter uma robustez considerável (FERNANDES, 2015).

Figura 15 – Inversor da WEG CVW300 para tração elétrica (Veículos elétricos).



Fonte: (WEG..., 2019).

Um dispositivo importante na segurança de um veículo elétrico são os relés de segurança, ao instalar condicionadores de ar, bombas de direção eletro hidráulica em um carro elétrico, é necessário instalar um conjunto de relé apropriado para ligar e desligar esses dispositivos que geralmente trabalham com corrente contínua. Como essas cargas são altamente indutivas, um relé adequado é necessário para interromper a corrente sem criar arcos elétricos (BANSAL, 2005).

Os disjuntores também têm sua importância em um veículo elétrico, já que podem forçar uma interrupção da energia da bateria em caso de o mau funcionamento de algum sistema, sendo aconselhável sua instalação em um local de fácil acesso, como ilustrado na Figura 16. Já os medidores (corrente, tensão, potência e etc.) tem o papel de monitorar o desempenho em geral de um veículo elétrico, os principais requisitos para os medidores aplicados em carros elétricos são confiabilidade, precisão e legibilidade.

Figura 16 - Caixa de relés e sistema de controle do Toyota Prius respectivamente.



Fonte: Adaptado (LALLI, 2019).

3 PANORAMA ATUAL E ALGUMAS LEGISLAÇÕES QUE LIMITAM A EMISSÃO DE POLUENTES

Neste capítulo será retratado o quadro atual do mercado de veículos elétricos, legislações, empresas e programas relacionados aos veículos 100% elétricos.

3.1 Panorama do Mercado Mundial de Carros 100% elétricos

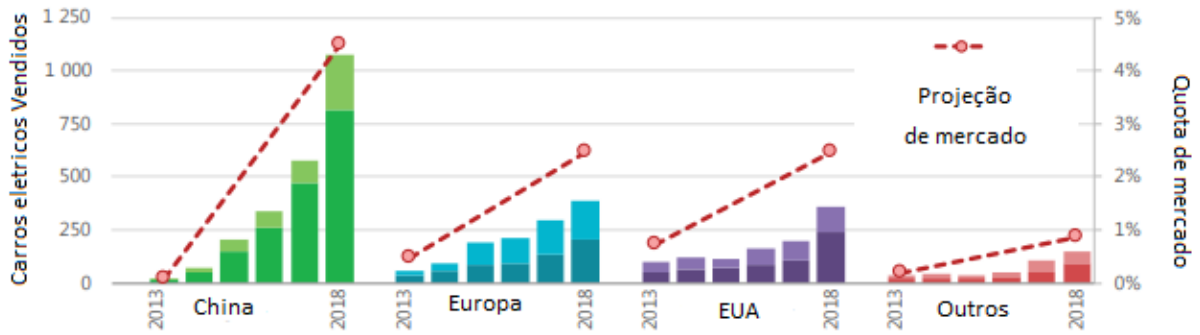
Na contemporaneidade, Europa, EUA e China são os principais participantes no ramo de veículos elétricos como apresenta a Figura 17, esses 3 polos foram responsáveis por aproximadamente 90% da produção dos carros elétricos. No ano de 2018, a frota global de carros elétricos ultrapassou 5,1 milhões, um aumento de 2 milhões em relação ao ano anterior e quase dobrando o número de novos registros de carros elétricos, somente a china foi responsável por quase 40% da produção e vendas de veículos elétricos no mundo na década de 10 do século XXI, a quadro 2 mostra o estoque de veículos elétricos em algumas regiões do mundo (IEA, 2019).

Os programas que facilitam e incentivam a compra, impulsionam a demanda e estimulam as montadoras a aumentar a produção de veículos elétricos no mercado. Também incentivam a implantação inicial da infraestrutura necessária para abastecer os veículos elétricos, esse crescimento é retratado no gráfico da Figura 17 e 18 (IEA, 2019).

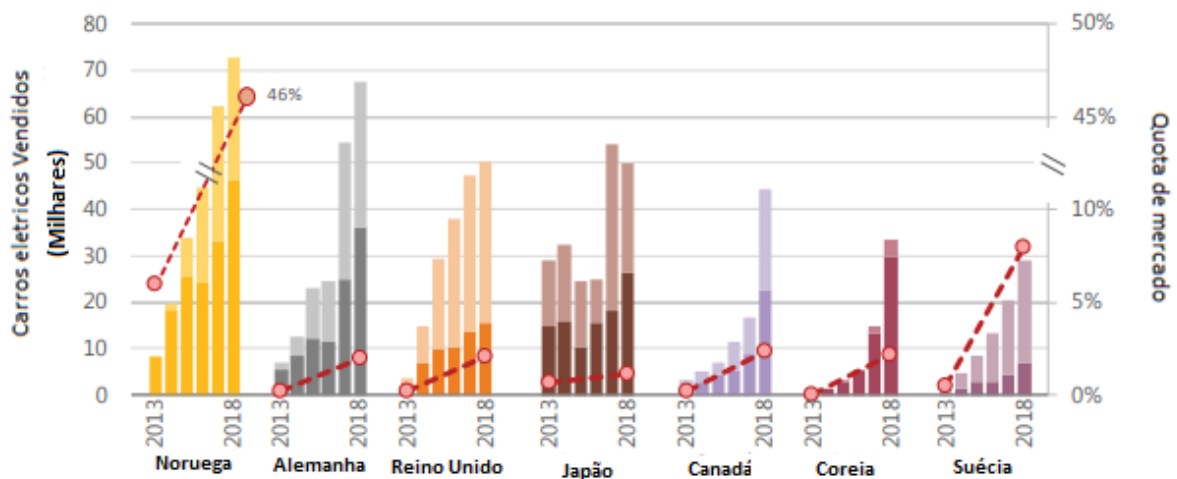
De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), mais de 750 mil veículos elétricos foram vendidos no mundo em 2016. Com isso, a frota de veículos elétricos nas ruas chega a 2 milhões no ano de 2016, esse número pode parecer grande, mas ainda é pouco (IEA, 2019).

Em 2017, foram vendidos cerca de 1,15 milhão de veículos elétricos e híbridos em todo o mundo, o que é equivalente a 0,7% do total que circula. Embora ainda representem uma pequena fração do total, desde a última década, esse tipo de mercado vem crescendo 57% ao ano, contra 3% do mercado de convencionais, sendo que maior participação é de veículos que utilizam somente baterias, atingindo 65% das vendas de veículos elétricos (IEA, 2019).

Como exemplo temos a fabricante americana Tesla, pioneira na produção em massa de veículos elétricos com acabamentos mais luxuosos, a sueca Volvo anunciou que a partir de 2019, todos os seus carros serão veículos híbridos ou elétricos. Já a montadora alemã Mercedes-Benz, tem investido bilhões de dólares, para se adaptar ao mercado de carros elétricos (HITECH, 2019).

Figura 17 – Gráfico com dados vendas dos principais mercados de veículos elétricos.

Fonte: adaptado de (IEA, 2019).

Figura 18 - Dados de vendas de alguns mercados de veículos elétricos.

Fonte: adaptado de (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Quadro 2 - Estoque de veículos elétricos em alguns países.

Países que anunciaram metas até 2020 ou mais tarde	Estoque de VEs em 2015 (mil veículos)	Meta do estoque de VEs em 2020	Participação dos VEs na venda de carros entre 2016 e 2020	Participação dos VEs no estoque total em 2020
Áustria	5,3	0,2	13%	4%
China*	312,3	4,5	6%	3%
Dinamarca	8,1	0,2	23%	9%
França	54,3	2	20%	6%
Alemanha	49,2	1	6%	2%
Índia	6	0,3	2%	1%
Irlanda	2	0,1	8%	3%
Japão	126,4	1	4%	2%
Holanda**	87,5	0,3	10%	4%
Portugal	2	0,2	22%	5%
Coreia do Sul	4,3	0,2	4%	1%
Espanha	6	0,2	3%	1%
Reino Unido	49,7	1,5	14%	5%
EUA	101	1,2	6%	2%

Fonte: adaptado de (IEA, 2016).

3.1.1 Redução nos custos e avanços na tecnologia das baterias

A maior difusão no mercado dos veículos 100% elétricos está diretamente ligada ao desenvolvimento das baterias. A melhoria da densidade energética das baterias é de suma importância pois, quanto maior sua densidade energética, mais eficiente seu sistema de armazenamento de energia se torna (IEA, 2016).

Melhorias, por sua vez, resultarão em baterias menores, conseqüentemente, veículos elétricos mais leves, menores, com maior autonomia e mais baratos, no gráfico da Figura 19 é mostrada uma queda de aproximadamente 75% desde o ano de 2008, enquanto que a densidade energética das baterias cresceu mais de 330% no mesmo período (IEA, 2016).

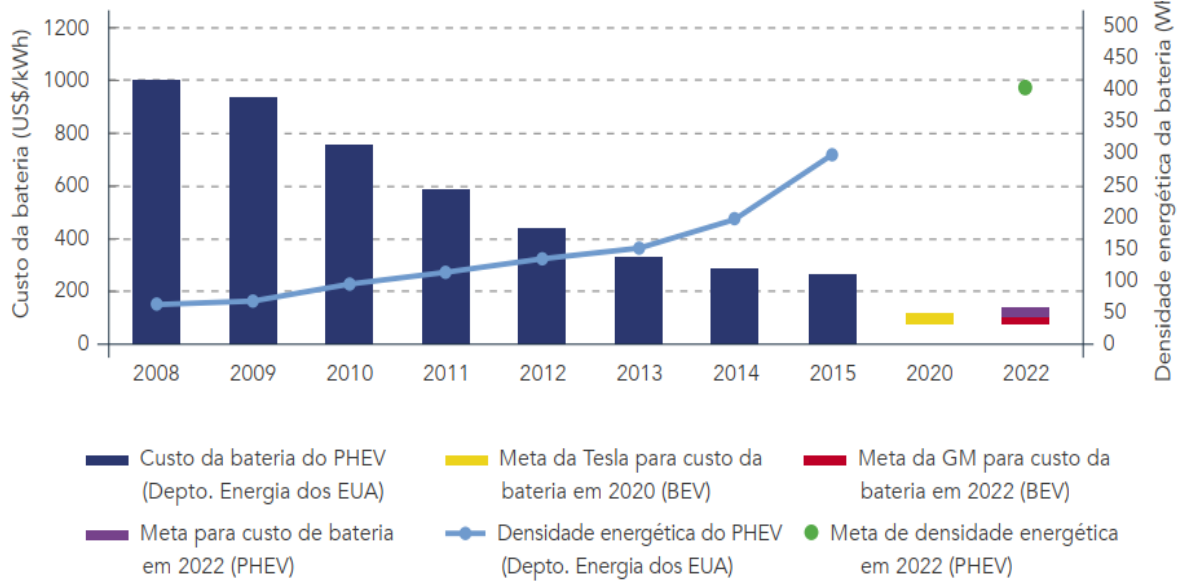
Pesquisas realizadas entre diversos fabricantes de baterias, retornou um custo médio do kWh para as baterias automotivas em torno de US\$2000 na primeira década do ano 2000. Com o passar dos anos esses valores evoluíram para até US\$ 250/kWh, segundo as previsões da ANL (Argonne National Laboratories), tendo ainda o objetivo de baixar o custo para até US\$150/kWh, segundo o USABC (Consórcio Americano para Baterias Avançadas) (NOCE, 2009).

No cenário atual é notável que quase todas as montadoras mundiais de carros estão montando seus próprios veículo elétricos, sendo que essas empresas são motivadas pelos preços cada vez mais baixos das baterias como mostrado e projetado na Figura 20, regras de emissões mais estritas e incentivos governamentais lucrativos para clientes (HITECH..., 2019).

Outro ponto que merece destaque são as reservas mundiais de lítio, a qual tende a diminuir com o crescimento da participação de veículos elétricos e híbridos no mercado, já que o lítio é a matéria prima mais utilizada na fabricação de baterias. Segundo dados do AMB, Anuário Mineral Brasileiro 2006, o Brasil detém cerca de 1,3% das reservas mundiais de lítio (NOCE, 2009).

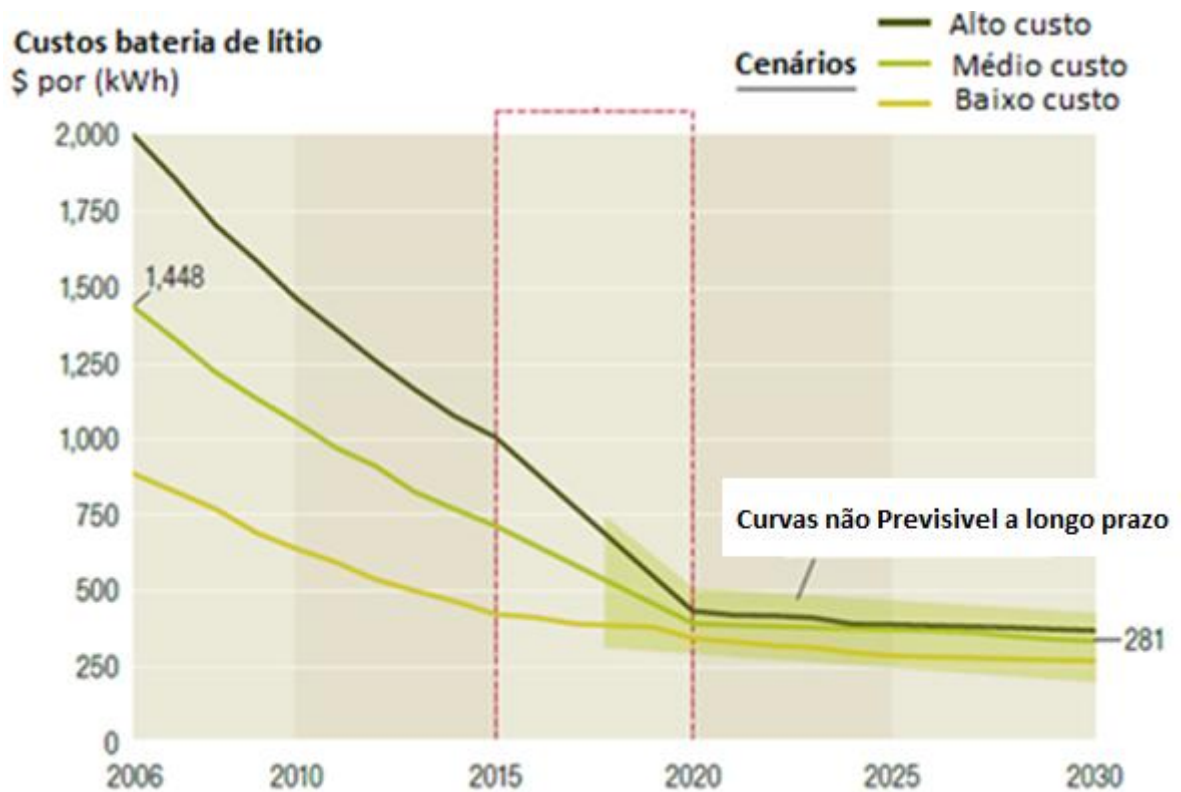
Um veículo com autonomia de 160km e um consumo de 0,1875kWh/km, utiliza entre 7,4 e 12,7kg de lítio na composição da bateria, dependendo da tecnologia utilizada. Considerando-se apenas as reservas medidas do AMB, é possível afirmar que o Brasil tem um potencial para a fabricação de mais de 10 milhões de veículos elétricos a partir da tecnologia de baterias que demanda a maior concentração de lítio, os cálculos não contemplam a reciclagem nem a importação de matéria prima (NOCE, 2009).

Figura 19 - Relação Custo VS Densidade Para Baterias.



Fonte: Adaptado de (DELGADO, 2017).

Figura 20 – Projeção de redução do custo de baterias lítio.



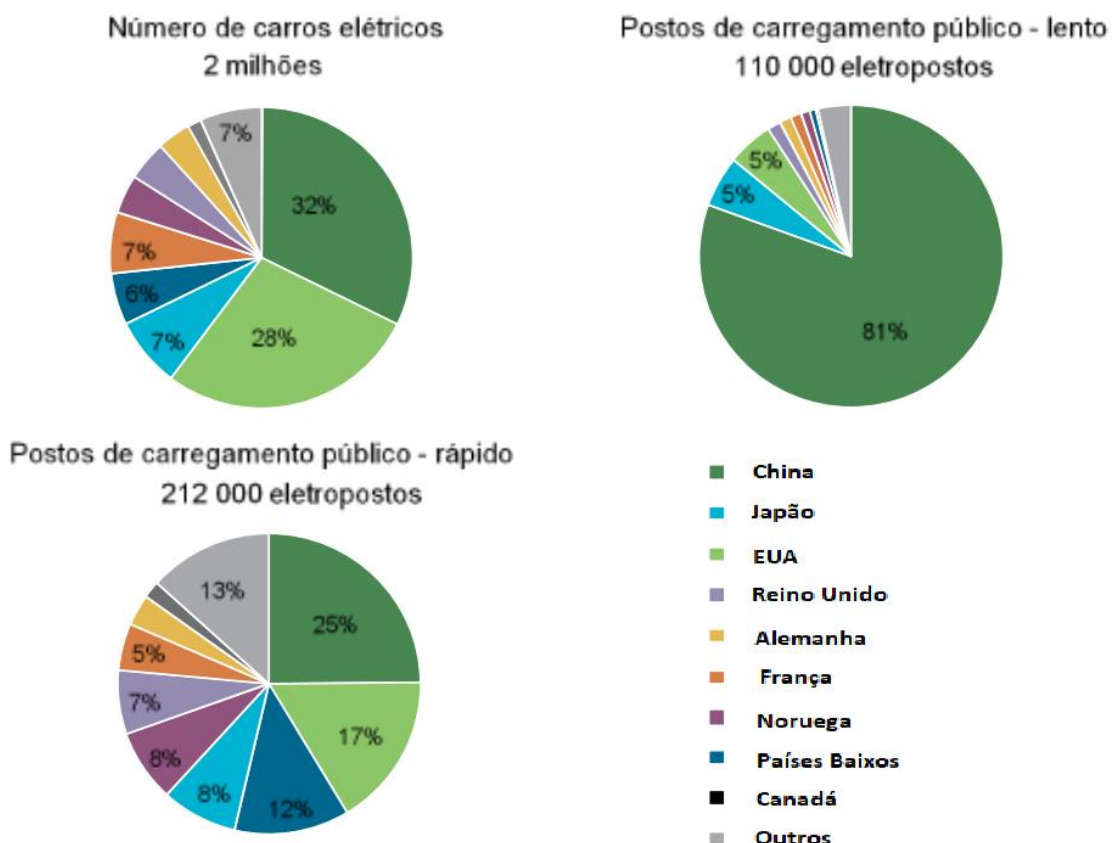
Fonte: adaptado de (IEA, 2019).

3.1.2 Infraestrutura para recarga das baterias

Atualmente, países e regiões com o maior volume de vendas de veículos elétricos como China, Europa, EUA e países como Japão e Coreia do Sul, são os grandes responsáveis por promover grande parte dos incentivos diretos e fiscais para estimular e facilitar a instalação de estações de recarga privadas. Ademais, como principal exemplo temos os Estados Unidos com seus mais de 36 mil entrepostos de recargas, sendo possível graças a um programa federal de financiamento para empresas que atuam inovando nesse setor (DELGADO, 2017).

Países como Japão e Dinamarca também contam com parcerias com seus governos para impulsionar a promoção e instalação de estações de recargas (IEA, 2016). A Figura 21 traz a relação por país de quantos postos públicos de recarga lenta e rápida há nos países de maior concentração dos carros elétricos.

Figura 21 – Distribuição dos postos de carregamento público x privado.



Fonte: Adaptado de (ZANETI, 2018).

Já no Brasil, a parceria entre a Itaipu Binacional e a concessionária distribuidora de energia elétrica do Paraná (Copel), inaugurou a primeira eletro via do Brasil no ano de 2018, o primeiro eletro posto foi inaugurado na capital Curitiba, sendo que essa eletro via possui o total

de 8 eletro postos, construídos na BR-277 (Figura 22). Esses eletro postos fornecem recargas gratuitas entre o percurso de Paranaguá a Foz do Iguaçu, cada eletro posto tem no total 50kVA de potência, para efeito de comparação equivale a dez chuveiros elétricos, cada estação possui os 3 tipos principais de conectores, para atender os principais tipos de carregamento (COPEL, 2018).

Figura 22 - Eletro via na BR- 277 no estado do Paraná.



Fonte: adaptado de (Copel, 2018).

3.2 Panorama Nacional

Apesar de no Brasil existirem subsídios e incentivos fiscais que tem o objetivo de estimular o mercado de veículos elétricos, os números de vendas de carros elétricos ainda é muito baixo, quando comparado a alguns países. Dentre os vários fatores que explicam a baixa nos números, está o poder de compra limitado da população em geral e a dificuldade de importação de produtos, já que grande maioria dos modelos elétricos são importados (DELGADO *et al.*, 2017).

Vale a pena ressaltar a existência de algumas iniciativas como o “Inova Energia”, que é responsável pela coordenação das ações de fomento à inovação e ao aprimoramento, visando o

incentivo para a produção de componentes para carros elétricos no Brasil. Esta iniciativa é apoiada por órgãos como a Finep, o BNDES e a ANEEL (DELGADO *et al.*, 2017).

Segundo dados da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), os carros elétricos emplacados no Brasil nos anos de 2016 e 2017 correspondem a cerca de 0,2% do total de veículos. Em números foram licenciados cerca de 4000 veículos elétricos contra mais de 2 milhões de veículos a combustão, com isso pode-se afirmar que essa nova ideia de implementação do carro elétrico no Brasil ainda está em fase inicial, apesar de existirem mais de 7000 carros elétricos circulando no Brasil segundo o DETRAN (SANTOS, 2017).

É importante destacar que os carros híbridos são maioria, quando comparado com um carro 100% elétrico. A tributação para importação de um veículo híbrido pode chegar a 7% do valor do veículo, dependendo do grau de eficiência energética, a tributação atual ainda incide, PIS/COFINS (13%), ICMS (de 12% a 18%, a depender do Estado), e o IPI, cujo percentual máximo pode chegar a 55% (JUSSANI; MASIERO e IBUSUKI, 2014).

No Brasil há um importante programa desde 2006 que realiza pesquisas na área de veículo elétrico, este programa é resultado da parceria entre a empresa brasileira Itaipu Binacional e a suíça KWO. Este convênio tem como objetivo avaliar os impactos na rede elétrica com a implementação de uma frota de carros elétricos para a frota de pesquisa. São utilizados os seguintes protótipos: modelo Fiat Palio Weekend (Figura 23), o compacto 500e (parceira Fiat) e modelos da Renault como os compactos Twizy e Zoe e o sedã Fluence ZE (ITAIPU BINACIONAL E KWO, 2015).

Figura 23 - Palio weekend elétrico.



Fonte: (PALIO..., 2018).

Outra importante empresa nacional, é a Hitech Electric Electric (Figura 24), fundada em 2010 pelo Engenheiro Mecânico Rodrigo Contin, tem se fortalecido no mercado após anos de

pesquisas e desenvolvimento no segmento motorsport (automobilismo), e isso ajudou a torná-la referência nacional em mobilidade urbana. Atualmente, o projeto conta com quatro vértices da nova mobilidade: elétrica, conectada, compartilhada e autônoma (HITECH, 2019).

Atualmente a Hitech Electric conta com 4 modelos de veículos em seu portfólio já homologados pelo Departamento Nacional de Trânsito (Denatran/Detran) para emplacamento e permissão para trafegar em centros urbanos. A empresa também proporciona programas e parcerias com para motoristas de aplicativos (empresas) de mobilidade urbana (HITECH, 2019).

Figura 24 - Veículos elétricos da Hitech electric.



Fonte: (HITECH, 2019).

3.3 Legislações e programas

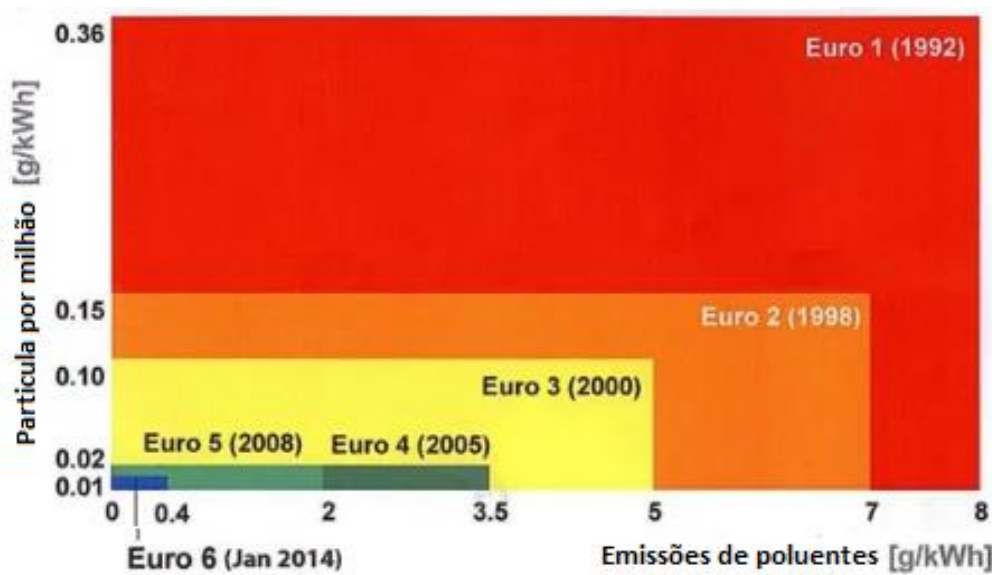
A poluição atmosférica, notada principalmente nas áreas urbanas em função do aglomerado de veículos que utilizam motores a combustão vem sendo um dos maiores problemas que assolam mais especificamente os grandes centros, não só em países de primeiro mundo, mas também daqueles em desenvolvimento.

3.3.1 Algumas legislações aplicadas no mundo

A partir da década de 1970 surgiram programas governamentais nos EUA, em países europeus, no Japão e em diversos outros países para o controle de emissões de gases tóxicos dos automóveis. Com a Lei do Ar Limpo, decretada nos EUA, foram estabelecidas metas que limitaram as emissões de gases poluentes sendo que no início dos anos 2000 a legislação foi alterada tornando-se mais rigorosa, os níveis de gases poluentes passaram a atingir 95% de redução em comparação aos padrões de 1970 (BERGEK e BERGGREN, 2014).

No continente europeu também foi estabelecido uma regulamentação similar, impondo restrições as emissões de veículos. O sistema chamado de “Euro” visava reduzir as taxas de emissão de poluentes e aumentar a eficiência dos motores dos veículos, de início o nível Euro I foi introduzido em 1992, o Euro 2 em 1996, o Euro 3 em 2000, o Euro 4 em 2005, o Euro 5 em 2009 e o Euro 6 em 2014 (Figura 25), propondo redução de até 90% os gases tóxicos dos veículos, em relação ao período anterior à regulamentação (BERGEK e BERGGREN, 2014).

Figura 25 - Redução de Emissões Euro 1-6.



Fonte: adaptado de (BERGEK e BERGGREN, 2014).

3.3.2 Algumas legislações aplicadas no Brasil

Em meados dos anos de 1980, a Resolução CONAMA 18 estabeleceu o PROCONVE, que estreou um novo horizonte visando o controle ambiental no setor automobilístico brasileiro. A resolução estabelece diretrizes, padrões e prazos para reduzir a emissões de poluentes, sendo válida tanto para veículos automotores nacionais ou importados (JUNIOR; DE SOUZA, 2018).

Através do PROCONVE, a diminuição dos níveis de emissão permitidos vem sendo implantada gradativamente, desde a sua primeira versão. Essa resolução garante que todos os lançamentos de novos veículos e motores nacionais e importados funcionem dentro dos limites de emissões permitidos, sendo que todas as emissões de escapamento são testadas, quantificadas e comparadas rigidamente aos limites (IVECO, 2019).

Outro ponto que merece destaque, é a isenção de IPVA para veículos elétricos em sete estados brasileiros (Figura 26), os proprietários de veículos movidos a motor elétricos são

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Neste capítulo será brevemente abordado os fatores cruciais para implementação de veículos elétricos no mercado.

4.1 Viabilidade econômica de projetos

Apesar de atualmente o valor de compra de um veículo elétrico ser maior que um veículo a combustão, o custo por km rodado de um carro elétrico é bem menor quando comparado aos custos de um veículo a gasolina. Isso garante um fluxo de despesas menor em um logo período de tempo por parte dos carros elétricos (DE AZEVEDO, 2018).

4.1.1 Incentivos fiscais

Os subsídios governamentais são essenciais para a inclusão em massa dos veículos elétricos e na construção de estações de recarga. Em quase todos os países onde há uma presença considerável de veículos elétricos fornecem incentivos diretos ou fiscais para instalação de infraestrutura de recarga doméstica ou pública e aquisição de carros elétricos, A quadro 3 apresentada a seguir mostra alguns exemplos (DELGADO, 2017).

Quadro 3 - Exemplos de incentivos para aquisição de veículos elétricos.

REGIÃO	PAÍSES	INCENTIVOS FINANCEIROS	INFRAESTRUTURA
América do Norte	EUA	Até US\$ 7,5 mil em crédito no valor de venda, de acordo com a capacidade da bateria. Há redução progressiva até o fabricante atingir duzentos mil veículos produzidos. Também há incentivos por parte de alguns estados.	Crédito de imposto de 30% do custo para instalações comerciais de pontos de recarga (limite de US\$ 30 mil). Crédito de imposto de até US\$ 1 mil para instalações residenciais. US\$ 360 milhões destinados à infraestrutura em projetos-piloto.
	China	Subsídios para a compra de veículos de até 元 60 mil.	
Ásia	Índia	Subsídio de ₹ 100 mil ou 20% do preço do veículo, prevalecendo o que for menor. Incentivos fiscais para elétricos puros e híbridos plug-in.	Há planos para facilitar a instalação de postos elétricos.

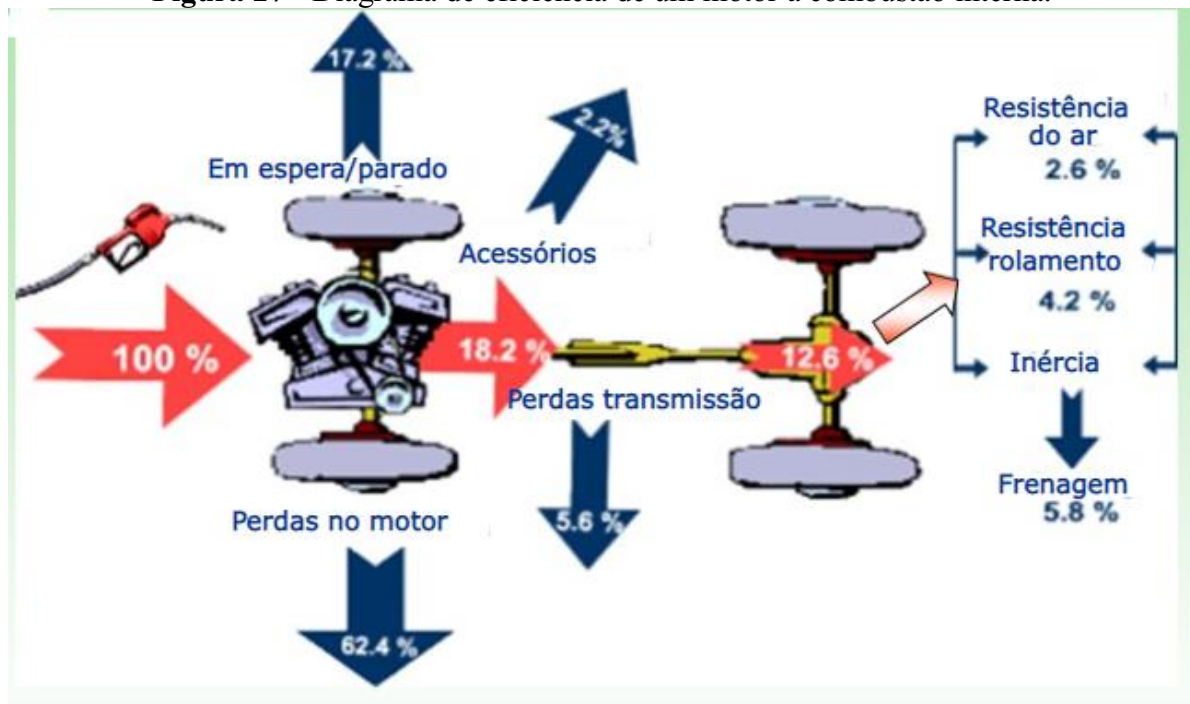
	Japão	Isenção de taxas de aquisição e sobre o peso do veículo. Incentivos de até ¥ 850 mil para a compra de elétricos puros e híbridos plug-in.	Apoio para custear até 50% do custo do equipamento de recarga, limitado a até ¥ 1,5 milhão (cerca de US\$ 12 mil) por carregador.
Europa	Suécia	Isenção de taxa de licenciamento nos primeiros cinco anos. Subsídios de € 4.500 no preço de veículos que emitam até 50 g CO ₂ /km. Equalização do valor tributável do veículo de baixa emissão ao do correspondente diesel/ gasolina para frotas de empresas.	Apoio por meio de fundo para pesquisa, desenvolvimento e demonstração. Não há incentivos mais amplos para infraestrutura.
	Alemanha	Isenção de taxas de licenciamento.	Quatro regiões foram escolhidas para demonstração de elétricos puros e híbridos plug-in.
	Dinamarca	Isenção de impostos de registro e de licenciamento.	Cerca de US\$ 11 milhões para o desenvolvimento de infraestrutura de recarga
	Espanha	Subsídios de até 25% no preço do veículo antes dos impostos no montante de até € 6 mil (cerca de US\$ 7 mil).	Incentivos públicos para um projeto-piloto de demonstração. Incentivos para instalação de infraestrutura de recarga em colaboração entre governos federal e regionais.
	França	€ 450 milhões (cerca de US\$ 500 milhões) em descontos concedidos aos consumidores que comprarem veículos eficientes, com 90% desse montante advindo de taxas sobre os veículos ineficientes e 10% de subsídios diretos.	€ 50 milhões (cerca de US\$ 60 milhões) para cobrir 50% do custo com infraestrutura de recarga (equipamento e instalação).
	Holanda	Redução de impostos no valor de 10% a 12% do custo do veículo.	Quatrocentos postos de recarga apoiados por incentivos.
	Itália	Isenção de taxas de licenciamento nos primeiros cinco anos. A partir do sexto ano, o desconto é de 75%.	
	Noruega	Isenção de impostos de compra (IVA) e de licenciamento. Isenção de impostos de importação para elétricos puros.	Governo investiu cerca de € 6,5 milhões na construção de dois mil postos de recarga. Em 2013, 4,5 mil postos já estavam disponíveis.
	Reino Unido	Subsídio de 25% no preço do carro até o máximo de £ 5 mil e de 20% no custo de um comercial leve até o máximo de £ 8 mil (cerca de US\$ 12 mil), desde que o veículo emita menos que 75 g CO ₂ /km. Há também isenção de taxas para veículos elétricos puros.	Cerca de US\$ 55 milhões destinadas a postos de recarga públicos, residenciais e em ruas e rodovias.

Fonte: Adaptado (VAZ, 2015).

4.1.2 Melhor aproveitamento dos recursos fósseis

O consumo de energia de veículos elétricos está na faixa de 0,1 e 0,3 kWh/km. Em contrapartida o consumo energético de um veículo a combustão é de 0,9 kWh/km, além de aproximadamente 15% da energia do processo de combustão será convertida em energia cinética como representado na Figura 27 (JUSSANI; MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Figura 27 - Diagrama de eficiência de um motor a combustão interna.



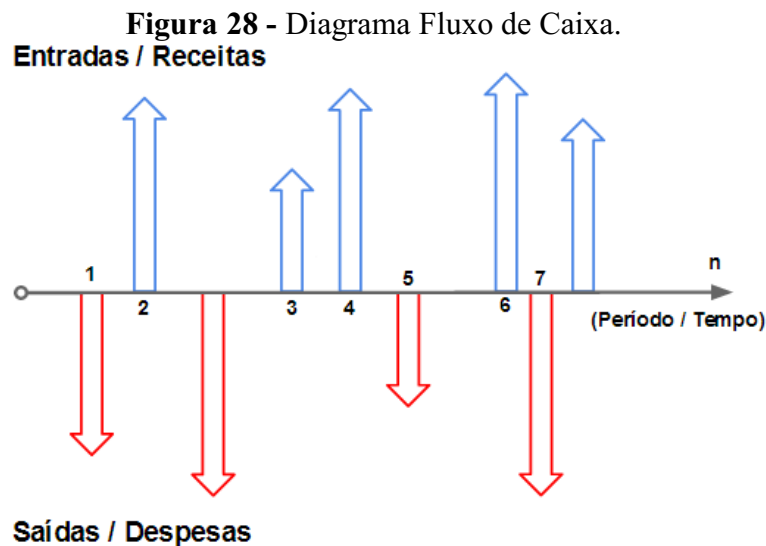
Fonte: (SEMINÁRIO NACIONAL E TRANSPORTES DAS UTILITIES, 2006).

No entanto, para uma mesma quantidade de combustível utilizada em uma usina geradora (termoelétrica) teria o rendimento do processo na faixa dos 40%, além da possibilidade de utilização da energia gerada nas usinas, nos veículos elétricos. Com base nesses dados é possível afirmar que a utilização de combustíveis fósseis para gerar energia elétrica em usinas, afim de ser utilizada em veículos elétricos torna o processo aproximadamente 2,5 vezes mais eficiente que o uso do combustível nos veículos de combustão (JUSSANI; MASIERO e IBUSUKI, 2014).

4.2 Payback e fluxo de caixa infraestrutura para recarga

O payback é o período necessário para que um investimento seja pago, nesse método os fluxos de caixa referentes a momentos diferentes são somados sem considerar o valor do dinheiro no tempo. O cálculo do período de payback pode ser elaborado de duas maneiras: tempo de retorno médio e efetivo, nesse método é fundamental a comparação do valor médio dos fluxos de caixa com o investimento realizado (FILHO, 2009).

Já o fluxo de caixa (Figura 28) se trata de um instrumento para o controle, cujo seu objetivo é auxiliar o investidor a tomar decisões sobre uma determinada situação financeira. Geralmente consiste em um relatório gerencial, informando de maneira clara, toda a movimentação financeira (entradas e saídas) considerando um determinado período, semana, mês etc., como mostrado no diagrama da figura a seguir (CAVALCANTE, 2012).



Fonte: (DE PAULA, 2013).

De acordo com CEMBALEST (2018) nos EUA um veículo de carga convencional (a diesel) de curta distância custa em torno de US\$ 100 mil e pode viajar mais 100.000 km por ano, durando cerca de um milhão de km. Entretanto no ano de 2018 a Tesla Motors anunciou dois possíveis concorrentes sendo eles um EV de carga capaz de percorrer 800 km a um custo inicial de US\$ 180 mil, e uma versão de 500 km a US\$ 150 mil, a Tesla Motors alega que sua eficiência compensará os custos iniciais mais altos em um curto período de tempo, (CEMBALEST, 2018) .

No quadro 4 temos os valores e unidade utilizados para o gráfico (Figura 29) referente ao payback do EV de carga da Tesla Motors.

Quadro 4 - Custo EV Carga Tesla x Diesel.

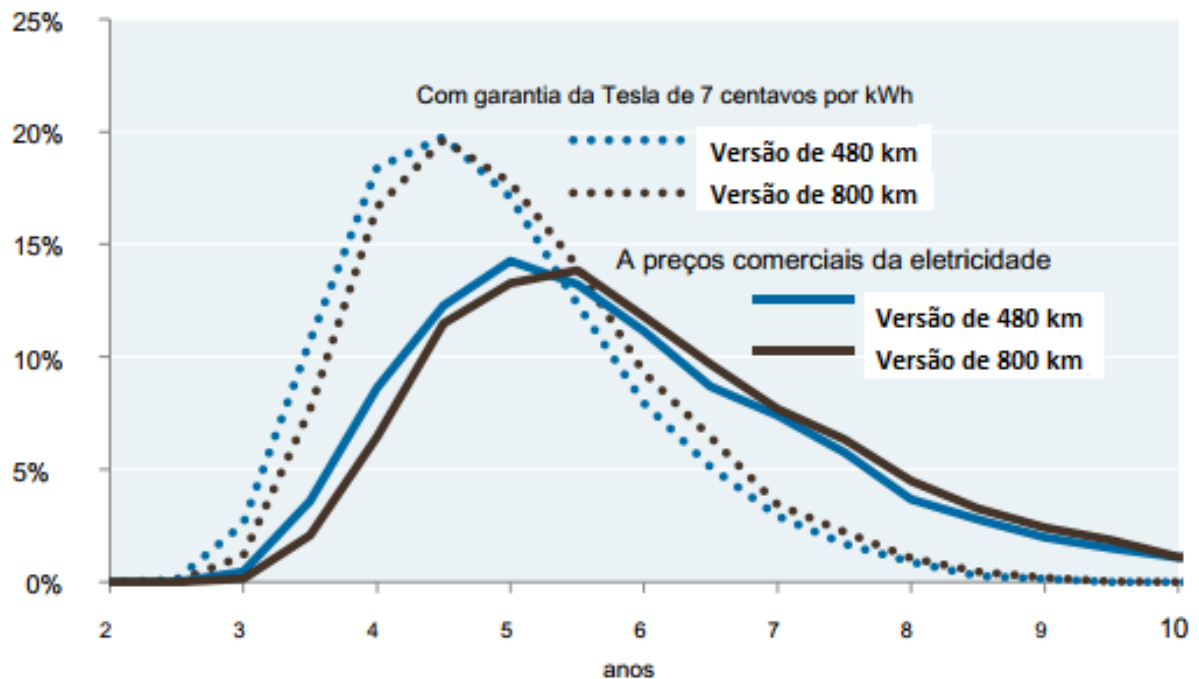
PREMISSAS	Valores Médios	Unidades
Substituição da bateria	125	US\$/ kWh
Eficiência de combustível Tesla	1,25	kWh / km
Eficiência de combustível diesel	3,18	km / l
km anuais percorridas	55.000	Km
Ciclos da bateria (vida útil)	1750	ciclos
Preço do diesel	1,16	US\$ / l
Preços da eletricidade	0,11	US\$ / kWh
Incum. reparação de diesel	0,16	US\$ /km

Fonte: Adaptado de (CEMBALEST, 2018).

Figura 29 - Payback Tesla EV carga x diesel.

Períodos de retorno para veículos de carga (Tesla EV x Diesel)

porcentagem de observações, n = 10.000



Fonte: Adaptado de (CEMBALEST, 2018).

4.1.1 Payback e fluxo de caixa Infraestrutura para recarga

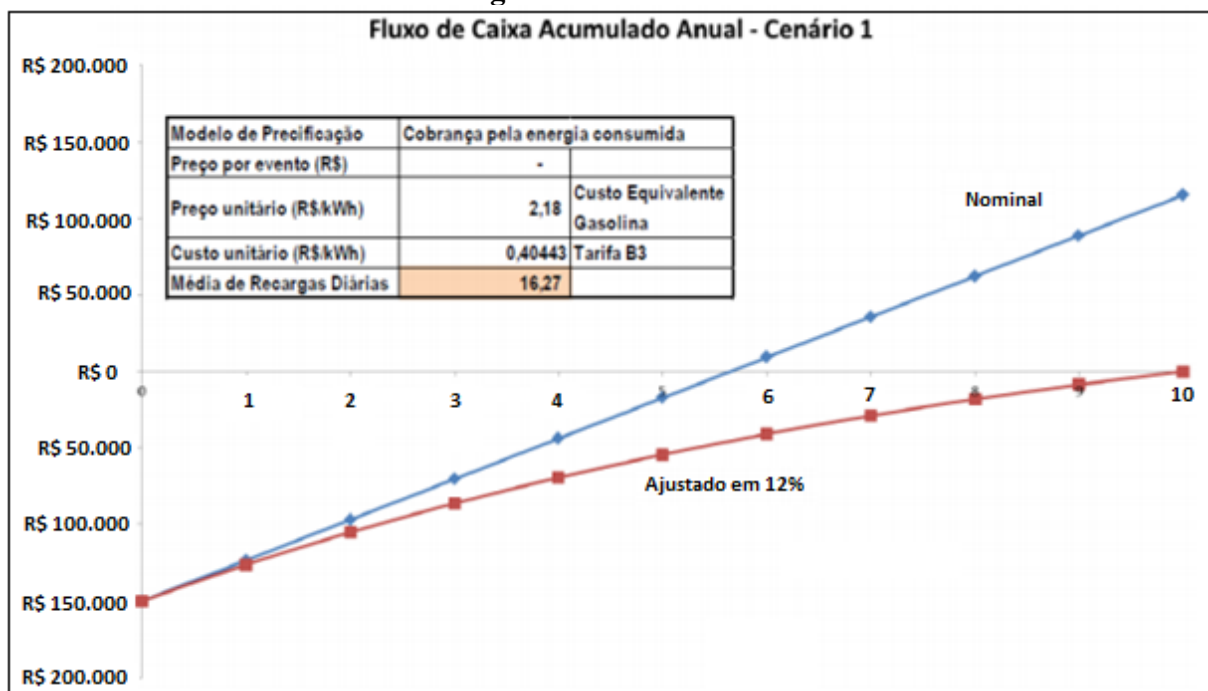
No Brasil a Aneel (Agencia Nacional de Energia Elétrica) realizou um estudo sobre o payback na instalação de um eletro posto público, considerando dois cenários, os quais são descritos em seguida. Para o cenário 1 (Figura 30), foi calculado cerca de 16 recargas de 25kWh para um payback de 10 anos, entretanto, é necessário ressaltar que a vida útil de um eletro posto

é em média é de 7 anos (10 anos seria o limite máximo para uso operacional), já no cenário 2 (Figura 31), considerando a recuperação do investimento em 7 anos, seria necessária uma tarifa de R\$81,19 por recarga, tendo 12 recargas diárias (ZANETI, 2018).

Cenário 1:

- O custo considerado foi apenas o de operação e manutenção;
- O valor do preço de R\$2,18 foi obtido em função do custo equivalente da gasolina, considerando R\$4 por litro de gasolina e autonomia de 10km por litro de gasolina;
- O custo da energia de R\$ 0,40443/kWh foi obtido considerando a tarifa B3 de uma grande distribuidora real;
- A taxa de desconto foi de 12% a.a.

Figura 30 - Cenário 1.

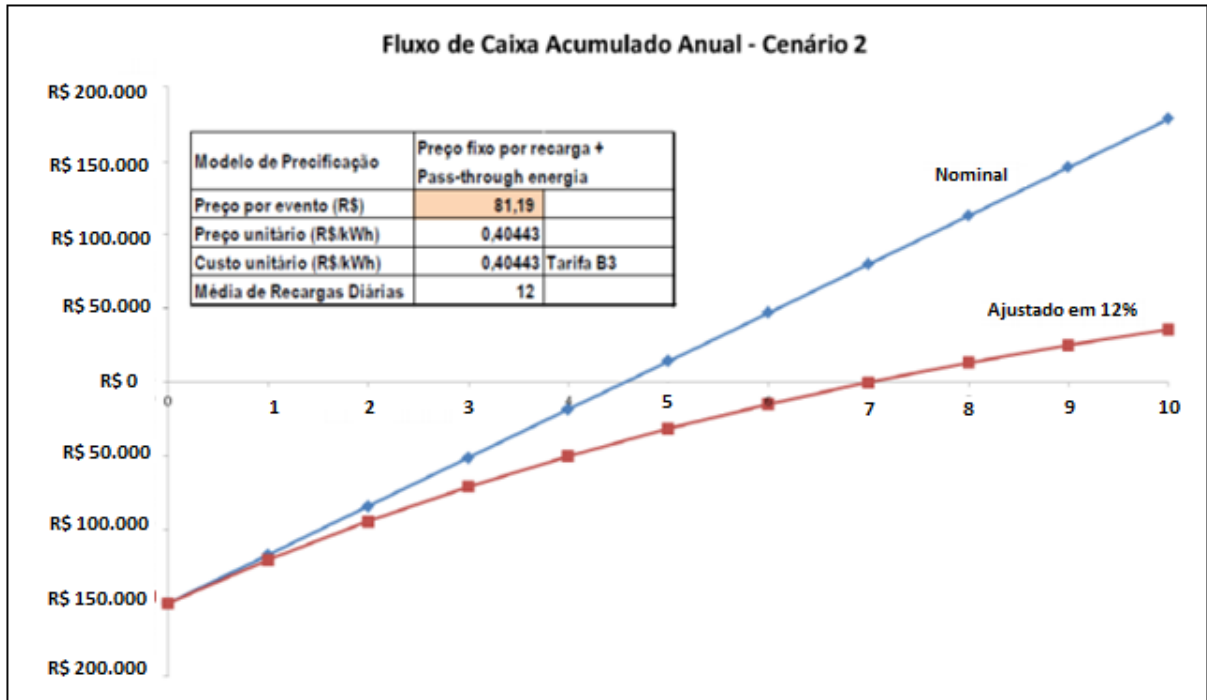


Fonte: adaptado de (ZANETI, 2018).

Cenário 2:

- Custo da energia considerado como pass-through (repass);
- Cobrança de um valor fixo por recarga, considerando 12 recargas.

Figura 31 - Cenário 2.



Fonte: adaptado de (ZANETI, 2018).

De acordo com essa análise, a ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica) constata que, o número de recargas será insuficiente para remunerar os investimentos das estações de recarga enquanto não houver um grande número de veículos elétricos, sendo esse o grande obstáculo nesse investimento em infraestrutura por empresas privadas. Além disso, considera que os custos de instalação das estações de recarga devem ser arcados pelos usuários desta, e não por todos os consumidores de energia elétrica (ZANETI, 2018).

4.3 Comparativo carro elétrico VS carro a combustão

Segundo (Santos, 2017), um estudo de mercado realizado com base no mercado europeu, compara dois modelos de carros de mesma marca “Renault” com características de porte semelhantes foram confrontados. Este estudo comparava o modelo elétrico (Zoe) e o modelo a combustão (Sandero), os resultados desse estudo podem estar apresentados no quadro 5, nesse caso é possível notar que um veículo a combustão terá gastos maiores, portanto terá uma despesa maior a longo prazo ou seja um fluxo de caixa negativo maior (SANTOS, 2017).

Quadro 5 - Comparativo de valores e desempenho entre carros de mesma marca.

	Veículo Elétrico Renault Zoe	Veículo a Combustão Renault Sandero
Segmento	Compacto	Compacto
Capacidade	5 pessoas	5 pessoas
Valor	29,990,00 €	9,990,00 €
Motorização	Motor elétrico a bateria	Motor de combustão interna 1.0; 3 cilindros; 12V
Combustível	Eletricidade	Gasolina ou etanol
Potencia	92 cv	79 cv
Torque máximo	210 Nm	100 Nm
Aceleração de 0 a 100 km/h	13,2 s	13,1 s
Velocidade máxima	135 km/h	160 km/h
Consumo Energético	0,65 MJ/km	1,52 MJ/km
Autonomia	300 km	600 km
Valor do km rodado (somente energia)	R\$ 0,09	R\$ 0,27

Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2017).

Outro importante estudo, porém, voltado para o mercado americano utilizando o Vehicle Cost Calculator do Departamento de Energia dos EUA (no estado da Califórnia), onde é comparado o custo cumulativo de propriedade de um veículo à combustão interna (Toyota Corolla a gasolina, modelo 2016) com o Veículo elétrico (Nissan Leaf, modelo 2016), (DELGADO, 2017).

A quadro 6 mostra que o Nissan Leaf é mais vantajoso que o Corolla em relação a gastos com combustível e manutenção, além de ser mais eficiente por quilômetro percorrido e emitir menos. Ao se comparar, o custo cumulativo de propriedade, que inclui o custo de aquisição do veículo, o Nissan Leaf perde essa vantagem, mas em um longo prazo o payback

efetivo se torna maior para o carro elétrico, mesmo levando em consideração o custo de substituição da bateria de 24 kWh, que custa por volta de US\$ 5.450,00, com garantia de 8 a 10 anos (DELGADO, 2017).

Quadro 6 - Comparativo entre Toyota Corolla e Nissan Leaf.

	Toyota Corolla a gasolina – 2017	Nissan Leaf BEV (bateria de 24 kW-hr) – 2016
Uso anual de gasolina*	1.438 litros (380 galões)	0 litros
Uso anual de eletricidade*	0 kWh	3.620 kWh
Desempenho (cidade/estrada)	12/16 km/l	27/33 kWh/100mi (milhas)
Custo anual de combustível/eletricidade**	US\$844	US\$615
Custo de manutenção no primeiro ano***	US\$3.102	US\$2.720
Custo por milha	US\$0,26	US\$0,23
Emissões anuais (libras de CO₂)	9.129	2.602****

Fonte: Adaptado de (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015).

Por não utilizarem óleo e fluido de transmissão, além de terem menos peças e utilizarem frenagem regenerativa (que é menos agressiva aos freios), os custos de manutenção do Nissan Leaf são bem menores. Um estudo conduzido pelo Institute for Automotive Research, da Nürtingen–Geislingen University, conclui que a manutenção dos veículos elétricos em geral pode custar 35% menos que em um veículo tradicional, esse estudo pode ser resumido na quadro 7 (DIEZ, 2014).

Vale ressaltar que uma análise de viabilidade financeira de um veículo elétrico, deve sempre considerar maior eficiência em termos de custo por quilômetro rodado e possivelmente menor custo de manutenção, aplicando-se os conceitos de fluxo de caixa e payback, como já explanado anteriormente neste capítulo. Não se deve limitar a comparação direta entre o valor de aquisição e o custo de renovação das baterias (DIEZ, 2014).

Quadro 7 - Quadro comparativo (Resumo).

	Veículo à combustão	Veículo Elétrico
Motor	Combustão	Elétrico
Combustível	Gasolina	Eletricidade
Rendimento médio do motor	25%	95%
Tipo de armazenamento de combustível	Tanque de combustível	Baterias
Autonomia	400 a 800 Km	150 a 600 Km
Custo de aquisição	Inferior	Superior
Emissões	0,70 kg CO ₂ /Km em media	Zero
Caixa de cambio	Série de marchas sequencias	Não possui
Óleo e filtros para motor	Necessita	Não necessita
Custos com manutenção até 100.000 km	3.000 R\$ a 10.000 R\$	1.000 R\$ a 7.000 R\$
Custo médio por Km rodado	0,27 R\$ a 0,50 R\$	0,08 R\$ a 0,20 R\$
Peças moveis em geral	Possui grande quantidade	Possui quantidade bem menor
Informações adicionais	Costumam utilizar sistema <i>start stop</i>	Utilizam freios regenerativos

Fonte: Adaptado de (DIEZ, 2014).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os motores utilizados atualmente em carros elétricos são elementos que possuem alta eficiência em uma ampla faixa de velocidade e torque, respostas rápidas e dinâmica, simples construção, alta confiabilidade, custo razoável, capacidade de frenagem regenerativa, facilidade de controle e baixo ruído. Além da evolução dos motores, o avanço da eletrônica de potência voltada para mobilidade, aliado a evolução da construção e o aumento da capacidade de carga das baterias, proporcionaram um significativo aumento na autonomia e conseqüentemente um melhor desempenho dos veículos elétricos.

Com a elaboração do presente trabalho, foi possível constatar que os veículos elétricos apresentam melhor aproveitamento no que diz respeito a eficiência energética, visto que as perdas durante a conversão da energia armazenada (baterias) em energia mecânica, são inferiores quando comparadas aos veículos a combustão. Outro fator a ser levado em consideração é a pouca quantidade de peças moveis em relação aos veículos convencionais, o que garante uma maior robustez no conjunto e menor custo de manutenção.

Antes do carro elétrico se tornar comum alguns desafios precisam ser enfrentados, ele deve tornar-se mais barato, com maior autonomia e a resistência inicial ao seu uso precisa ser vencida. Para endereçar as duas primeiras questões, espera-se que as baterias (as grandes responsáveis pelos preços ainda elevados dos carros elétricos) se tornem substancialmente mais baratas e com maior capacidade de armazenar carga. Apesar da lenta ascensão, o mercado de carros elétricos tem se mostrado promissor, devido a maior preocupação com a emissão de gases poluentes aliado a uma melhor eficiência energética.

As metodologias de análise de viabilidade econômica citadas neste trabalho, permitem demonstrar que a inserção do carro elétrico no mercado, a longo prazo é rentável quando comparada aos veículos convencionais, em decorrência dos fatores comparativos já citados anteriormente. A introdução em massa do carro elétrico no mercado viabiliza ainda novos modelos de negócios, novas oportunidades econômicas e, praticamente, toda uma nova cadeia produtiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIRAULT, Justin *et al.* The Electric Vehicle Battery Landscape: Opportunities and Challenges. **CENTER FOR ENTREPRENEURSHIP & TECHNOLOGY**, Berkeley, Califórnia, p. 1-45, 21 dez. 2009. Disponível em: https://ikhlaqidhu.files.wordpress.com/2010/03/nr-electricvehiclebatterylandscape_1221-1.pdf. Acesso em: 9 jun. 2019.

BANSAL, Ramesh C. **ELECTRIC VEHICLES**. Pilani, India: Birla Institute of Technology and Science, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/43517238>. Acesso em: 1 jun. 2019.

BERGEK, A.; BERGGREN, C. The impact of environmental policy instruments on innovation: a review of energy and automotive industry studies. **ECOLOGICAL ECONOMICS**, v. 106, p. 112-123, 2014.

BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz Carlos Ferracin; BIAGGIO, Sonia Regina. Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental. **QUÍMICA E SOCIEDADE**, [S. l.], p. 3-9, 11 maio 2000. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc11/v11a01.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2019.

CAVALCANTE, José Carlos. FLUXO DE CAIXA. **SEBRAE**, São Paulo, p. 1-10, 10 fev. 2012. <https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/PB/Artigos/cartilha-saiba-mais-fluxo-de-caixa.pdf>.

CEMBALEST, MICHAEL. EYE ON THE MARKET. **Annual Energy Paper**, [S. l.], p. 09-15, 10 abr. 2018. Disponível em: <https://www.jpmorgan.com/jpmpdf/1320745238375.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2020.

CHAN, C. C. The Rise & Fall of Electric Vehicles in 1828–1930: Lessons Learned. **IEEE**, [S. l.], p. 206-212, 24 dez. 2012. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6384804>. Acesso em: 2 jun. 2019.

CHOI, Charles Q. Zinc Battery Breakthrough Could Mean Safer, Lighter Cars and Smartphones. **IEEE SPECTRUM**, [S. l.], p. 1-1, 27 abr. 2017. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/energywise/transportation/advanced-cars/zincbased-batteries-can-provide-more-energy-safety-than-liion>. Acesso em: 10 jun. 2019.

CITISYSTEMS. *In*: BERTULUCCI SILVEIRA, Cristiano. **Motor CC**: Saiba como funciona e de que forma especificar. [S. l.], 27 jan. 2017. Disponível em: https://www.citisystems.com.br/motor-cc/#disqus_thread. Acesso em: 7 abr. 2020.

COPEL. **Copel lança primeira eletro via do brasil**. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F7988867F48E725D18325825D00749693> 27 março de 2018. Acesso em 13 de jul de 2020

DA ROCHA, Bárbara Pacheco; ALBERTON, Henrique Benicio de Souza; DE OLIVEIRA, Luisa Batista. **Frenagem regenerativa**. [S. l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 2014. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/projenergia3/projetos/trabalhos-2014/trabalhos-2014-2/GRUPOB.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2019.

DE AZEVEDO, Marcelo Henrique. **Carros elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, Ouro preto, 2018. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1579/6/MONOGRAFIA_CarrosEI%C3%A9tricosViabilidade.pdf. Acesso em: 13 jun. 2019.

DELGADO, Fernanda *et al.* CARROS ELÉTRICOS. **FGV**, [S. l.], p. 1-112, 25 maio 2017.

DEMONSTRATIVO de Fluxo de Caixa: O que é, como usar e dicas para sua empresa! *In*: DE PAULA, GILLES B. **Treasy**. [S. l.], 11 ago. 2013. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/demonstrativo-de-fluxo-de-caixa/>. Acesso em: 13 mar. 2020.

DIEZ, Willi. **Mehr Profit durch Kundenbindung**. **Institut für Automobilwirtschaft**, 2014.

DOS SANTOS, Ieda Maria Antunes. **Análise de Investimentos**. Orientador: Laércio Luis Vendite. 2009. 13 f. Projeto Supervisionado (Graduação em Matemática Aplicada e Computacional) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. Disponível em: http://vigo.ime.unicamp.br/Projeto/2009-2/MS777/ms777_ieda.pdf. Acesso em: 10 jun. 2019.

DORRELL, David G. *et al.* Comparison of different motor design drives for hybrid electric vehicles. **IEEE**, Atlanta, USA, p. 1-8, 1 nov. 2010. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5618318>. Acesso em: 10 jun. 2019.

ENGENHEIRO Caiçara. *In*: **O motor de indução trifásica**. [S. l.], 27 jun. 2015. Disponível em: <https://engenheirocaicara.com/conheca-o-mit-motor-de-inducao-trifasico/>. Acesso em: 27 abr. 2020.

FERNANDES, Camila Barreto. **Inversores para veículos elétricos: aplicação do controle vetorial sem sensor para um motor de indução**. 2015. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014368.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2019.

FI GROUP (Brasil) (ed.). E-BOOK ROTA 2030. *In*: **ROTA 2030**. [S. l.]: FI Group, 2019. *E-book*.

FILHO, MARCELO LISBOA FERREIRA. **Análise de viabilidade mercadológica de automóveis elétricos híbridos plug-in no brasil**. Orientador: Prof. Antônio Rafael Namur Muscat. 2009. 123 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia de produção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://pro.poli.usp.br/wp-content/uploads/2012/pubs/analise-de-viabilidade-mercadolologica-de-automoveis-eletricos-hibridos-plug-in-no-brasil.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

FREITAS, Joaquim Carlos Novais de. **Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos**. 2012. Tese (Mestrado em Eng. Mecânica) - Universidade do Minho, Guimarães, 2012.

FONTAÍNHAS, José João Cunhal. **Avaliação da viabilidade econômica da aquisição de um veículo elétrico em Portugal**. 2013. Tese (Mestrado em engenharia industrial) - Universidade do Minho Escola de Engenharia, [S. l.], 2013.

HELMERS, Eckard; MARX, Patrick. **Electric cars: technical characteristics and environmental impacts**. [S. l.]: Environmental Sciences Europe, 2012. Disponível em: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/2190-4715-24-14>. Acesso em: 3 jun. 2019.

HITECH Electric: Quem somos. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://hitech-e.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 26 set. 2019.

IEA. Global EV Outlook 2019. **Scaling-up the transition to electric mobility**, [s. l.], maio 2019. Disponível em: https://webstore.iea.org/download/direct/2807?fileName=Global_EV_Outlook_2019.pdf. Acesso em: 30 set. 2019.

INOVAÇÃO Tecnológica. *In: Bateria de zinco armazena 450 watts/h por litro*. [S. l.], 30 ago. 2016. Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=bateria-ions-de-zinco&id=010115160830#.XywKkyhKjIV>. Acesso em: 6 jun. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA. Global EV Outlook. **OECD**, IEA. 2016. Disponível em: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf. Acesso em 30 de nov de 2019

IPVA – para veículos elétricos. [S. l.]: Associação Brasileira do Veículo Elétrico, 2017. Disponível em: <http://www.abve.org.br/ipva-para-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 20 nov. 2019.

ITAIPU BINACIONAL E KWO. Veículo Elétrico. **VE**, [S. l.], 25 ago. 2015.

IVECO do Brasil. **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores**. [S. l.]: Iveco a brand of CNH Industrial, 2019. Disponível em: <https://www.iveco.com/brasil/institucional/pages/proconve.aspx>. Acesso em: 20 nov. 2019.

JUNIOR, VICENTE NUNES. **Estudo das principais vantagens do uso da frenagem regenerativa em veículos híbridos**. São Caetano do Sul: [s. n.], 2014. Disponível em: <https://maua.br/files/monografias/completo-estudo-das-principais-vantagens-uso-frenagem-regenerativa-veiculos-hibridos-280732.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2020.

JUNIOR, Orlando de Salvo; DE SOUZA, Maria Tereza Saraiva. A regulamentação como indutora de tecnologias ambientais para a redução de emissões tóxicas em veículos leves no Brasil. **FGV EBAPE**, São Paulo, p. 1-13, 27 jul. 2018.

JUSSANI, A. C.; MASIERO, G; IBUSUKI, U. Carro-elétrico vs híbrido: Qual alternativa ambientalmente sustentável para o Brasil? **XVII SEMEAD: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO**. 2014. Disponível em: <http://sistema.semead.com.br/17semead/resultado/trabalhosPDF/221.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2019.

LALLI, Fernando. Híbridos e Elétricos: Carros Híbridos em sua Oficina: Uma Realidade Próxima. **O MECÂNICO**, [S. l.], ano 2019, p. 1-2, 24 abr. 2019. Disponível em: <https://omecanico.com.br/ed-300-hibridos-e-eletricos-carros-hibridos-em-sua-oficina-uma-realidade-proxima/>. Acesso em: 30 set. 2019.

LARMINIE, James; LOWRY, John. **Electric vehicle technology explained**. Chichester: The Atrium, 2003. Disponível em: <http://www.ev-bg.com/wordpress1/wp-content/uploads/2011/08/electric-vehicle-technology-explained-2003-j-larminie.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2019.

REVIMAQ. *In*: LOURENÇO, Heber. **A evolução na eficiência energética de motores elétricos**. [S. l.], 29 jan. 2015. Disponível em: <https://revimaq.com/noticia/a-evolucao-na-eficiencia-energetica-de-motores-eletricos/>. Acesso em: 5 maio 2020.

NETO, A. A. **Finanças corporativas e valor**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006. 656 p.

NOCE, Toshizaemom. **Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento**. Belo Horizonte: PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS, 2009. Disponível em: http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica_NoceT_1.pdf. Acesso em: 10 jul. 2020.

PALIO weekend elétrico. *In*: FIAT. [S. l.], 16 mar. 2018. Disponível em: <https://www.fiat.com.br/sustentabilidade/produto/palio-weekend-eletrico.html>. Acesso em: 3 set. 2019.

RAMÍREZ, Álvaro Lazúen; JIMÉNEZ, Adriano Linero. **Simulation of an extended range electric vehicle usage in a real environment**. 2012. Monografia (Bacharel em Engenharia mecânica) - Universidade de Skovde, Skovde, 2012. Disponível em: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:545994/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2019.

RAMÓN ROMERO, Jose Manuel; ALBA LOTADO, Javier; VIDORRETA SALILLA, Javier. **El vehículo eléctrico en España**. Madri: Universidade de Las Palmas, 2009.

RIBA, Jordi Roger *et al.* **Rare-earth-free propulsion motors for electric vehicles: a technology review**. Catalunha: Universitat Politècnica de Catalunya, Electrical Engineering Department, 2016. Disponível em: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/87933/Rev1_2015_12_14_e-print.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 11 jun. 2019.

RUEDA, Oscar Antônio Solano. **Controle do motor de indução para veículos elétricos mediante o uso de duplo conversor**. 2014. Monografia (Pós-graduação e pesquisa em engenharia elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível

em: <http://www.pee.ufrj.br/index.php/pt/producao-academica/dissertacoes-de-mestrado/2014-1/2014080801-2014080801/file>. Acesso em: 12 jun. 2019.

SANTOS, Ana Carolina Fabricio da Rocha. **Análise da viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico versus veículo a combustão**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Santa Maria, Santana do Livramento, RS, 2017.

SEMINÁRIO NACIONAL E TRANSPORTES DAS UTILITIES, 2006, São Paulo. **Veículos elétricos em frotas de utilities** [...]. São Paulo: Imigrantes exposições, 2006. 23 p. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/14592/>. Acesso em: 26 set. 2019.

SOUSA, Marina Maria de Liberador Cury. **Veículos elétricos: a rede de inovação da pesquisa e desenvolvimento no brasil**. 2015. Monografia (Bacharel em Gestão de Empresas) - Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2015.

SCHNEIDER, David. To Boost Lithium-Ion Battery Capacity by up to 70%, Add Silicon. **IEEE SPECTRUM**, [S. l.], p. 1-1, 6 jan. 2019. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/energy/renewables/to-boost-lithiumion-battery-capacity-by-up-to-70-add-silicon>. Acesso em: 12 jun. 2019.

SERGEANT, Peter; BOSSCHE, Alex P. M. Van den. Influence of the Amount of Permanent-Magnet Material in Fractional-Slot Permanent-Magnet Synchronous Machines. **IEEE**, [S. l.], p. 4979 - 4989, 16 abr. 2013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6502702>. Acesso em: 10 jun. 2019.

THE DRIVEN. *In*: SCHMIDT, BRIDIE. **Some traditional auto companies won't survive EV transition, S&P says**. [S. l.], 22 fev. 2019. Disponível em: <https://thedriven.io/2019/02/22/transition-to-electric-cars-will-pressure-auto-parts-suppliers-report-says/>. Acesso em: 1 jun. 2020.

UM POUCO sobre a conversão de veículos elétricos. [S. l.], 6 fev. 2009. Disponível em: <https://seucarroeletrico.wordpress.com/>. Acesso em: 27 jul. 2019.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Plug-In Electric Vehicle Handbook for Consumers**. 2015. Disponível em: http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/pev_consumer_handbook.pdf. Acesso em: 19 de abril de 2017.

VAZ, L. F. H.; BARROS, D. C.; DE CASTRO, B. H. R. **Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento**. BNDES Setorial 41, p. 295-344, 2015.

WEG. [S. l.], 6 jun. 2019. Disponível em: <https://www.weg.net/institutional/BR/pt/>. Acesso em: 14 jul. 2019.

ZANETI, Letícia Alves Lima. **Diagnóstico dos produtos e serviços complementares para a adoção dos carros elétricos e híbridos no brasil**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: http://sinergia.ufsc.br/wp-content/uploads/2017/09/TCC_Leticia2018.pdf. Acesso em: 15 jul. 2020.