

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
UNIFOA – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DA MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO

PEDRO LUIZ BARRETO COELHO

**ANÁLISE DE PERFORMANCE DE VEÍCULOS HÍBRIDOS E
ELÉTRICOS**

VOLTA REDONDA

2017

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
UNIFOA – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DA MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DE PERFORMANCE DE VEÍCULOS HÍBRIDOS E
ELÉTRICOS**

Monografia apresentada ao
Curso de Engenharia Elétrica do UniFOA
como parte dos requisitos para obtenção
do título de bacharel em Engenharia
Elétrica.

Aluno:

Pedro Luiz Barreto Coelho

Orientador:

Prof. Vagner Silva Guilherme

VOLTA REDONDA

2017



Fundação Oswaldo Aranha



FOLHA DE APROVAÇÃO

Curso: Engenharia Elétrica

Acadêmico: Matrícula: Pedro Luiz Barreto Coelho 201310097

Título do TCC: Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Elétrica.

Aprovada em 25 de novembro de 2017

Banca Avaliadora:

Professor Orientador

Vagner Silva Guilherme, Doutor, UniFOA

Professor Avaliador

Edson de Paula Carvalho, Mestre, UniFOA

Professor Avaliador

Bruno Moreira da Silva, Especialista, UniFOA

DEDICATÓRIA

Esta pesquisa é dedicada à Deus, família e amigos do autor, em especial à Gizelda de Mello Barreto, avó que sempre acreditou na capacidade de seus netos e além de dar muito amor, financiou os estudos dos mesmos tendo sã consciência que a educação é uma das virtudes mais importantes da vida.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece o apoio de seus pais, familiares, amigos próximos e entusiastas do tema, que o apoiaram durante toda a jornada de pesquisa e escrita para realização deste trabalho. Além disto, fica um agradecimento especial para seu orientador Vagner Silva Guilherme que se mostrou bem interessado em ajuda-lo sempre que possível e também se desdobrou para que este trabalho fosse realizado com sucesso.

RESUMO

Os frequentes encontros de países industrializados para discussão dos impactos ambientais ocasionados pela emissão de Gases de Efeito Estufa (Encontro de Paris, por exemplo) junto à um avanço tecnológico exponencial da eletroeletrônica automotiva fomentaram a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso sobre as novas alternativas de sistemas de propulsão na mobilidade urbana, os Veículos Híbridos e Elétricos. Este trabalho embasa o leitor em todas as áreas de aplicação motora da Engenharia Elétrica e Eletrônica dentro do setor automotivo, exemplificando o funcionamento dos sistemas de propulsão apresentados e as especificações de seus principais componentes. Realizando uma análise de Performance totalmente focada no território nacional e no consumidor brasileiro de automóveis zero quilômetro, a pesquisa compara carros elétricos, híbridos e convencionais (movidos pelo motor de combustão) em todos os aspectos cabíveis com objetivo de encontrar um resultado da análise com peso no perfis traçados no Brasil e seus fatores externos (Infraestrutura, indústria e incentivos fiscais).

Palavras chave: Veículos. Propulsão. Híbridos. Elétricos. Performance.

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	1
1.1	O Problema Abordado	2
1.1.1	Recursos	3
1.1.2	Efeito Estufa	4
1.1.3	Alta Produção de Automóveis	7
1.2	Objetivos Gerais	9
1.3	Objetivos Específicos	9
1.4	Justificativa	10
2.	Fundamentação teórica.....	11
2.1	Máquinas Elétricas	11
2.2	Máquinas Térmicas	11
2.2.1	Motores de Combustão Interna (MCI's).....	13
2.2.2	Motores de Movimento Alternativo	15
2.3	Bateria	16
2.3.1	Energia Específica x Poder Específico	18
2.3.2	Modelos de Baterias Utilizadas no Setor Automotivo	19
2.4	Células de Combustível.....	24
2.4.1	Modelos de Células de Combustível	25
2.5	Eletroeletrônica veicular	28
2.5.1	Arquitetura Elétrica	28
2.5.2	Rede CAN	30
2.6	Funcionamento de um Sistema de Propulsão Elétrico	31
2.6.1	Tipos de Automóveis Elétricos e seus componentes básicos.....	32
2.7	Funcionamento de um Sistema de Propulsão Híbrido	40
2.7.1	Tipos de Automóveis Híbridos e seus componentes básicos.....	41

3.	Metodologia	51
3.1	Perfil de Consumidor de Carros 0Km.....	52
3.1.1	Performance Motor.....	53
3.1.3	Performance Econômica	61
3.2	Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos.....	63
3.2.1	Análise de Performance Motor	63
3.2.2	Análise de Performance Ecológica.....	75
3.2.3	Análise de Performance Econômica	85
3.3	Fatores Externos	94
3.3.1	Infraestrutura	95
3.3.2	Incentivos	97
4.	Resultados e discussões.....	98
5.	Conclusões.....	100
6.	Referências	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de conversão de Calor em Trabalho realizado por uma Máquina Térmica.....	12
Figura 2 - Motor a Combustão Interna e suas partes.	14
Figura 3 - Processo de combustão de combustível num Motor de 4 Tempos..	16
Figura 4 - Configuração básica de uma bateria e esquematização de seus componentes.....	17
Figura 5 - Relação entre Energia Específica x Poder Específico.	19
Figura 6 - Construção da Bateria de Chumbo Ácido.	20
Figura 7 - Processo químico de uma Bateria de Níquel-Hidreto Metálico.	21
Figura 8 - Configuração das Baterias de Lítio-Íon no Nissan Leaf.	22
Figura 9 - Previsão de Demanda de Lítio no mundo (Em kMT).	24
Figura 10 - Esquematização do processo de uma Célula de Combustível.	25
Figura 11 - Arquitetura Elétrica Distribuída.	29
Figura 12 - Multiplexagem Citroën C5.....	31
Figura 13 - Visão externa de um motor de indução.....	36
Figura 14 - Motor síncrono de ímã permanente.	38
Figura 15 - Sistema de propulsão Elétrico.	38
Figura 16 - Diagrama sistema de propulsão puro elétrico.....	39
Figura 17 - Sistema de propulsão Híbrido Série.....	44
Figura 18 - Diagrama funcionamento sistema de propulsão Híbrido Série.	45
Figura 19 - Sistema de propulsão Híbrido Paralelo.....	48
Figura 20 - Diagrama funcionamento sistema de propulsão Híbrido Paralelo.	49
Figura 21 - Sistema de propulsão Híbrido Power Split.....	51

Figura 22 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE.....	56
Figura 23 - Redução Relativa ao Limite e Nível de emissão de CO ₂	59
Figura 24 - Ciclo de perdas e geração de Energia em um Motor à Combustão.	65
Figura 25 - Tipos de Eletropostos.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações químicas das baterias.....	23
Tabela 2 - Especificações das Células de Combustível.....	28
Tabela 3 - Veículos 0Km mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.	53
Tabela 4 - Torque motor(Kgfm) dos carros mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.	54
Tabela 5 - Desempenho na cidade(Km/L) dos carros mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.....	55
Tabela 6 - Autonomia na Estrada(Km) dos carros mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.....	57
Tabela 7 - Limite de emissão de gases poluentes em veículos autos.....	58
Tabela 8 - Limite de emissão de gases poluentes em veículos comerciais leves de massa referencial menor que 1700Kg.....	59
Tabela 9 - Nível de emissão de GEE (gCO ₂ /Km) e Redução Relativa ao Limite dos carros mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.	60
Tabela 10 - Veículos "Amigos do meio ambiente" e "Despreocupados" em 2012 por categoria de motor.	61
Tabela 11 - Preço inicial dos carros (em Reais) mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.....	62
Tabela 12 - Torque motor dos carros utilizados para Análise de Performance Motor no projeto.	68
Tabela 13 - Autonomia dos carros utilizados para Análise de Performance Motor no projeto.	70

Tabela 14 - Desempenho dos carros utilizados para Análise de Performance Motor no projeto.	72
Tabela 15 - Tanque de Combustível estimado para comparação nos VE's.	73
Tabela 16 - Níveis de Poluição dos carros utilizados para Análise de Performance Ecológica no projeto.	75
Tabela 17 - Especificações de Nível de emissão de GEE, Desempenho na Cidade e Torque Motor para Regressão Linear Múltipla.	80
Tabela 18 - Valor das variáveis “a”, “b” e “c” para Regressão Linear Múltipla de Veículos de Motor a Combustão.	81
Tabela 19 - Resultado final da Regressão Linear Múltipla de Veículos de Motor a Combustão.	81
Tabela 20 - Valor das variáveis “a”, “b” e “c” para Regressão Linear Múltipla de Veículos Híbridos.	83
Tabela 21 - Resultado final da Regressão Linear Múltipla de Veículos Híbridos.	83
Tabela 22 - Preço dos carros utilizados para Análise de Performance Motor no projeto.	86
Tabela 23 - Preço médio de abastecimento dos dez carros mais populares no Brasil de janeiro a setembro de 2017 (Em gasolina e etanol).	89
Tabela 24 - Preço médio de abastecimento dos Veículos Híbridos utilizados na análise.	89
Tabela 25 - Preço de carregamento dos Veículos Elétricos utilizados na análise.	90

Tabela 26 - Preço médio para se rodar 100Km em São Paulo – SP nos veículos utilizados para a Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos.....	91
Tabela 27 - Manutenção preventiva de automóveis.....	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Duração prevista de combustíveis (em anos).....	4
Gráfico 2 - Emissões de GEE por setor em 2013.....	6
Gráfico 3 - Regulações de Emissões de CO ₂ , 2015 (Países/ Continentes – g/Km x Ano).....	7
Gráfico 4 - Panorama futuro de produção de automóveis em Milhões x Anos...	8
Gráfico 5 - Comportamento Torque x Velocidade do Motor de Indução.	35
Gráfico 6 - Torque versus velocidade do Motor Síncrono de Ímã permanente.	37
Gráfico 7 - Comparação da Eficiência dos Motores Elétricos.....	66
Gráfico 8 - Comparação das eficiências dos motores dos sistemas de propulsão.....	67
Gráfico 9 - Comparação do torque motor dos veículos selecionados para Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos.	69
Gráfico 10 - Comparação da Autonomia na Estrada dos veículos selecionados para Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos.	71
Gráfico 11 - Comparação do Desempenho na Cidade dos veículos selecionados para Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos..	73
Gráfico 12 - Análise de Performance Motor de Veículos Híbridos e Elétricos..	74
Gráfico 13 - Análise de Performance Ecológica de Veículos Híbridos e Elétricos.....	78
Gráfico 14 - Valor real do Nível de emissão de GEE x Valor obtido pela Regressão Linear Múltipla.....	82
Gráfico 15 - Valor real do Nível de emissão de GEE de Veículos Híbridos x Valor obtido pela Regressão Linear Múltipla.....	84

Gráfico 16 - Comparação do Valor Médio de Mercado dos veículos selecionados para Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos..	87
Gráfico 17 - Custo médio para rodar 100Km em São Paulo – SP (em reais). .	91
Gráfico 18 - Análise de Performance Econômica.....	94

LISTA DE SIGLAS

AFC	Célula de Combustível Alcalina
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional de Petróleo
<i>BMS</i>	<i>Battery Management System</i>
<i>CAN</i>	<i>Controller Area Network</i>
CC	Célula de Combustível
CHO	Aldeídos
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Gás Carbonico
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
DMFC	Célula de Combustível a Metanol Direto
<i>ECU</i>	<i>Electronic Control Unit</i>
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EP	Eletroposto
FENABRAVE	Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
<i>IGBT</i>	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
KOH	Hidróxido de Potássio
Li-Íon	Lítio Íon
MCI	Motor de Combustão Interna

MI	Motor de Indução
MSIP	Motor Síncrono de Ímã Permanente
NiCd	Níquel Cádmio
NiHM	Níquel Hidreto Metálico
NMHC	Hidrocarbonetos não Metano
NOX	Óxidos de Nitrogênio
PAFC	Célula de Combustível de Ácido Fosfórico
PbA	Chumbo Ácido
PEMFC	Célula de Combustível por Memória de Troca de Prótons
<i>PWM</i>	<i>Pulse-Width Modulation</i>
Sindirepa	Sindicato da Indústria de Reparação de Veículos e Acessórios do Estado de São Paulo
SOFC	Célula de Combustível de Óxido Sólido
VCI	Veículo a Combustão Interna
VE	Veículo Elétrico
VEB	Veículos Elétricos a Bateria
VECC	Veículos Elétricos a Célula de Combustível
VH	Veículo Híbrido
VHP	Veículos Híbridos em Paralelo
VHS	Veículos Híbridos em Série
VZE	Veículos de Zero Emissão

1. INTRODUÇÃO

Questões ambientais e econômicas alimentam discussões entre as grandes nações quanto ao rumo do desenvolvimento sustentável do planeta, há a preocupação muito grande com o Aquecimento Global e o clima da Terra, que se torna cada vez mais instável, estes temas são as tópicos de grandes encontros, como o acontecido no Acordo de Paris em 2015. Desta forma, o ímpeto dos países em mudar a forma de produzir energia, e consumi-la, proporciona o maior investimento industrial em novas tecnologias, inclusive na área automobilística.

Historicamente, o surgimento do automóvel teve uma contribuição importante para o estreitamento das relações sociais e ajudou a moldar a sociedade contemporânea (fim das longas viagens, maior rapidez de informações), o número de veículos cresce exponencialmente e a dedicação para que novas tecnologias sejam implantadas nos mesmos é cada vez maior.

Porém, atualmente, em sua grande maioria, os automóveis são feitos de motores a combustão interna (VCI's – Veículos à combustão interna), utilizando como fonte primária de energia combustíveis oriundos do carvão e petróleo, que além de altamente poluentes, estão com os dias contados no planeta.

A alternativa de maior aplicação de Veículos Híbridos e Elétricos no mercado mundial ganha força a cada novo projeto lançado com sucesso pelas montadoras de nível internacional. Capazes de diminuir o nível de emissão de gases poluentes dos automóveis (em veículos Puro Elétricos o nível de emissão é zero) e apresentar maior desempenho e conforto com sua eletrônica embarcada avançada e conectividade com outros aparelhos inteligentes, estes sistemas de propulsão se tornam os principais candidatos para futuramente

resolverem os problemas que hoje são encontrados nos veículos convencionais. (HUSAIN, 2003), (DELGADO, 2017), (MARINHO, 2017).

1.1 O Problema Abordado

Historicamente, veículos movidos à eletricidade não são novidade na linha do tempo automobilística. O carro elétrico teve grande relevância entre os anos de 1895 à 1910, logo no início da motorização da sociedade, surgindo antes mesmo dos automóveis com motor à combustão.

Em contrapartida, o aumento de extrações de petróleo naqueles tempos, em sua grande parte vindo dos Estados Unidos, fomentaram a produção de sistemas de propulsão à combustão interna. Aos poucos, o veículo elétrico (mais especificamente a partir de 1910) foi perdendo espaço no mercado.

Com o engajamento do petróleo como principal combustível fóssil desta geração, o automóvel com motor à combustão interna era capaz de garantir inúmeros benefícios que o carro elétrico não tinha infraestrutura para competir, por exemplo: o tempo de recarga da bateria que era longo, enquanto para abastecer um tanque de gasolina eram levados cerca de 5 minutos, além da facilidade de instalação de postos de gasolinas em residências nas recém criadas estradas pelo mundo, desta forma, um veículo a gasolina conseguia percorrer maiores distâncias.

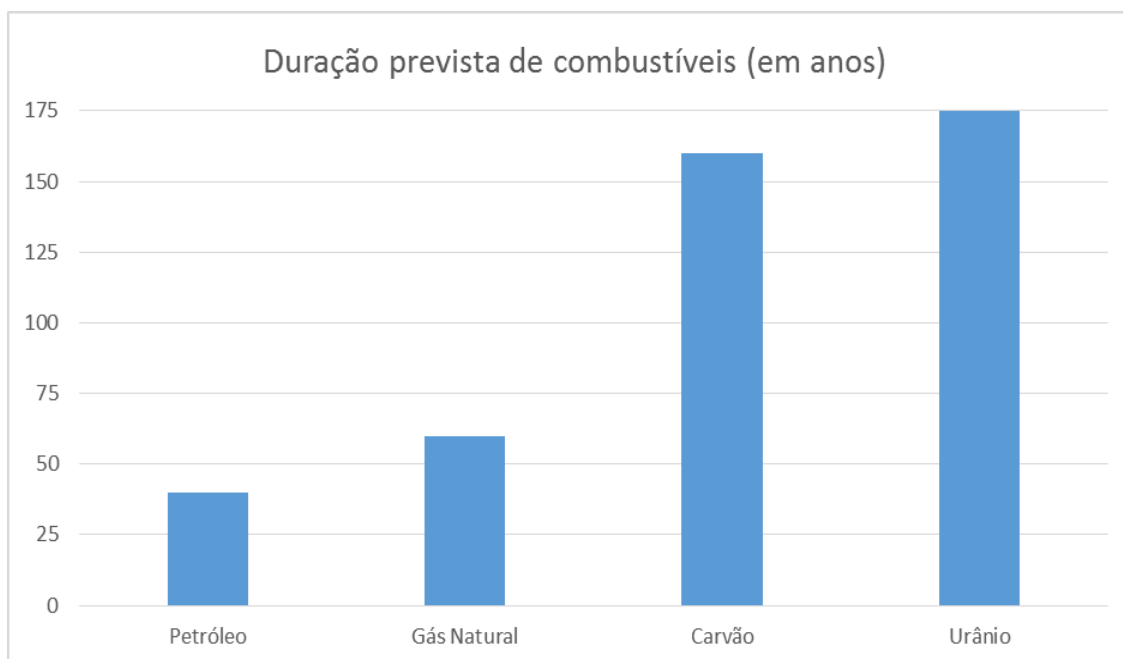
Hoje, o mercado dos VCI's está bem estabelecido, enquanto os veículos Híbridos e Elétricos são tratados como modelos não convencionais, porém, inúmeros fatores ambientais e tecnológicos estão a cada dia mudando este panorama e o mercado automobilístico está trazendo à tona novamente o carro elétrico. Três pontos fundamentais para compreender a necessidade de transformar automóveis híbridos ou elétricos (de preferência este último) em

modelos competitivos são a desenfreada produção de carros no mundo (atendendo a demanda), o esgotamento de alguns recursos importantes no planeta (principalmente o Petróleo) e o Efeito Estufa, diretamente ligado com a emissão de gases poluentes na atmosfera. (HUSAIN, 2003), (DELGADO, 2017), (MARINHO, 2017).

1.1.1 Recursos

O petróleo é um combustível fóssil e na indústria automobilística é a força motriz dos veículos convencionais (VCI's). Porém, podemos afirmar sem medo que esta fonte está se esgotando. Desde sua descoberta, este combustível fóssil assumiu uma responsabilidade econômica muito grande, sua versatilidade o tornou importante e fez com que várias áreas diferentes da Indústria o utilizassem em seus processos e países o ambicionassem. A extração desenfreada do mesmo faz com que a cada dia essa matéria prima se esgote, forçando o homem a buscar novas soluções. Nosso conhecimento de petróleo no planeta nos leva a acreditar que o que possuímos não dure mais que 50 anos se mantivermos nossas estratégias de produção, como pode ser visto no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Duração prevista de combustíveis (em anos).



Fonte: adaptado pelo autor baseado em World Energy Outlook 2006, IEA.

Não há alternativa cabível para o futuro, se não o investimento em novos sistemas de propulsão. Os veículos híbridos, por mais que se utilizem também de um motor à combustão interna, apresentam um consumo de combustível muito menor, sendo muito mais eficiente e econômico. Já o veículo puro elétrico é totalmente inofensivo à vida deste recurso, pois se utiliza apenas uma bateria de lítio e um motor elétrico. (HUSAIN, 2003), (DELGADO, 2017), (MARINHO, 2017).

1.1.2 Efeito Estufa

Quanto ao Efeito Estufa, em 2015 um escândalo chamado de "DieselGate" envolvendo a Volkswagen veio à tona e mais uma vez a questão das emissões de gases poluentes por carros voltou à discussão. O Governo dos Estados Unidos foi o responsável por descobrir que a empresa alemã

utilizou em vários veículos movidos à diesel, fabricados entre 2009 e 2015, um software que era capaz de mascarar os índices de emissão de CO₂ (que eram maiores que os permitidos dentro do país), quando os veículos eram vistoriados. O impacto foi tremendo e a Wolkswagen teve de pagar inúmeras multas em vários países e realizar vários recalls.

Como consequência dos acontecimentos escandalosos do DieselGate, o setor automobilístico passou a olhar ainda mais com bons olhos para os veículos Híbridos e Elétricos, tendo em vista os avanços da eletrônica embarcada e os novos conceitos de conectividade veículo como formas de garantir a robustez destes sistemas de propulsão.

Também em 2015 ocorreu o Acordo de Paris, que, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente:

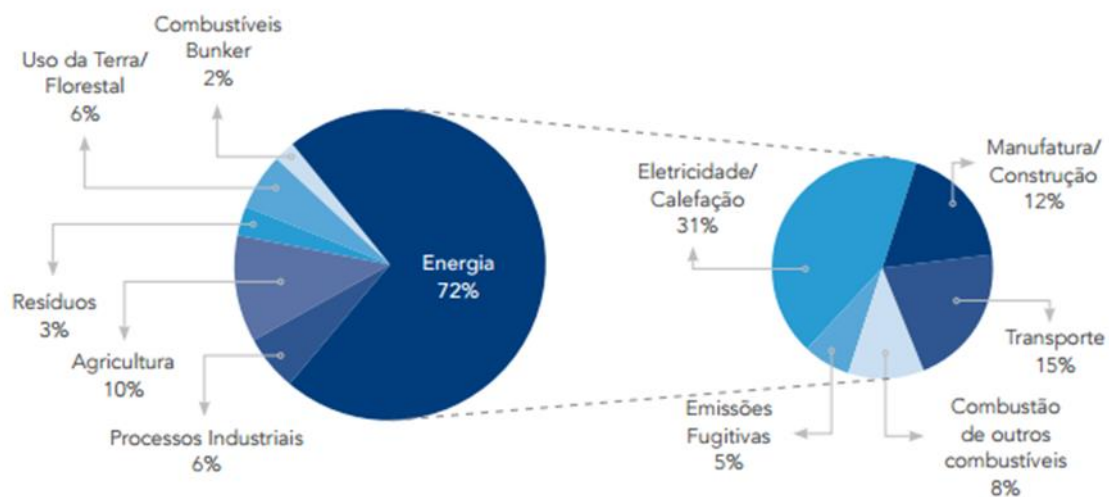
“O Acordo de Paris foi aprovado pelos 195 países Parte da UNFCCC para reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE) no contexto do desenvolvimento sustentável. O compromisso ocorre no sentido de manter o aumento da temperatura média global em bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais.

Para que comece a vigorar, necessita da ratificação de pelo menos 55 países responsáveis por 55% das emissões de GEE. O secretário-geral da ONU, numa cerimônia em Nova York, no dia 22 de abril de 2016, abriu o período para assinatura oficial do acordo, pelos países signatários. Este período se estende até 21 de abril de 2017.” (2016, website: <http://www.mma.gov.br>)

O setor de transportes é um dos grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera e torna-lo mais limpo é uma estratégia importante dos países desenvolvidos para que as metas deste acordo sejam cumpridas.

Podemos observar no Gráfico 2 a participação do setor automobilístico na emissão de GEE's (Gases de Efeito Estufa) em 2013, significativos 15% da fatia de emissões a partir da produção de energia. (HUSAIN, 2003), (DELGADO, 2017), (MARINHO, 2017).

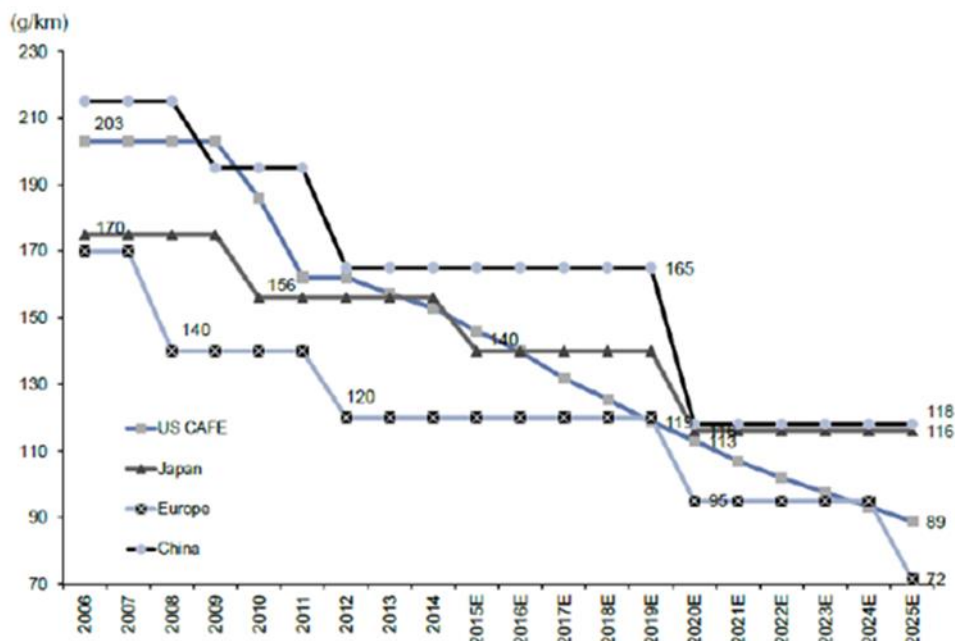
Gráfico 2 - Emissões de GEE por setor em 2013.



Fonte: Caderno de Carros Elétricos, FGV, p. 8; 2017

Desta forma, as emissões de CO₂ tendem a se tornar cada vez mais rígidas com o passar dos anos, esta é a forma que os países mais desenvolvidos contribuirão com as políticas sustentáveis e garantirão a segurança do meio ambiente. Podemos observar este panorama no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Regulações de Emissões de CO₂, 2015 (Países/ Continentes – g/Km x Ano).



Fonte: Japan Automobile Manufacturers Association (JAMA), US Department of Energy (DOE), Goldman Sachs Global Investment Research.

Veículos Híbridos tem um índice de emissão de CO₂ muito inferior aos VCI's, até porque seu motor a combustão é acionado em momentos específicos de sua rodagem, garantindo muito mais economia de combustível e uma utilização bem esporádica. Já os veículos puro elétricos, são chamados de VZE's (Veículos de Zero Emissão), por serem em sua concepção totalmente inofensivos ao meio ambiente. (HUSAIN, 2003), (DELGADO, 2017), (MARINHO, 2017).

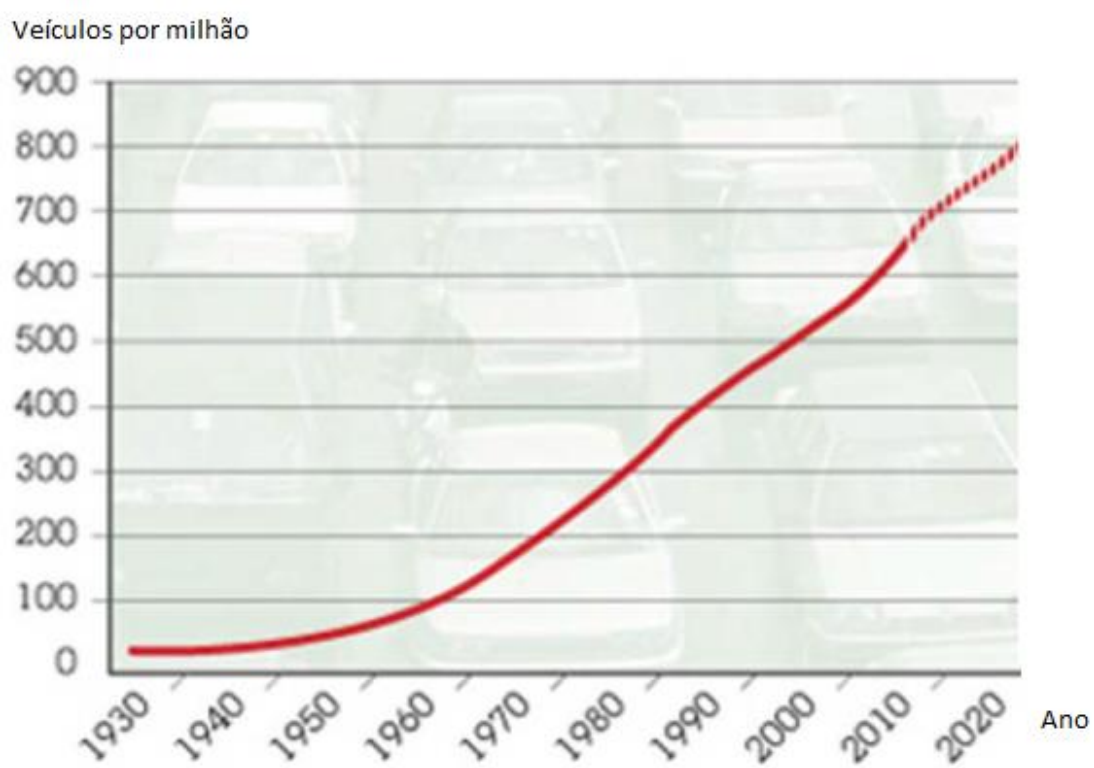
1.1.3 Alta Produção de Automóveis

Paralelo ao futuro esgotamento de recursos e às regulações de emissão de CO₂ se tornando cada vez mais rigorosas, o mercado

automobilístico não para de crescer para atender a grande demanda de clientes.

O Gráfico 4 abaixo apresenta o panorama futuro de produção de automóveis em Milhões x Anos. (HUSAIN, 2003), (DELGADO, 2017), (MARINHO, 2017).

Gráfico 4 - Panorama futuro de produção de automóveis em Milhões x Anos.



Fonte: Apostila de Veículos Elétricos e Híbridos, SAE Brasil, Marinho 2016, pg. 16

1.2 Objetivos Gerais

Esta pesquisa tem como objetivo apresentar as principais características de automóveis movidos à sistemas de propulsão híbridos e elétricos, analisando seus pontos principais e comparando-os com os VCI's. Além de desenvolver um estudo elaborado sobre o panorama econômico e fatores ambientais, de forma a verificar a viabilização destas novas tecnologias em um futuro próximo.

1.3 Objetivos Específicos

A finalidade deste Trabalho é realizar uma análise da performance de um carro híbrido e de um carro elétrico, por meio da análise dos dados capturados e compará-los com os VCI's, dissecando fatores importantes como:

- Análise de Performance Motor: Qualidade do torque motor, desempenho, autonomia e eficiência.
- Análise de Performance Ecológica: Níveis de emissão de cada sistema de propulsão.
- Análise de Performance Econômica: Valor de mercado base dos modelos, custos de manutenção e de abastecimento de combustível ou carregamento de bateria.

A comparação destes três itens nos trará respostas de panoramas de aplicação dos carros híbridos e elétricos no mercado nacional.

1.4 Justificativa

O que leva o autor deste Trabalho de Conclusão de Curso à elaborar um estudo sobre o desempenho de veículos Híbridos e Elétricos é a necessidade de implantação dos mesmos como modelos comerciais no futuro da indústria automobilística, ao lado de uma nova eletrônica embarcada, capaz de trazer ao cliente, sustentabilidade, autonomia, segurança e maior conectividade. O engajamento de algumas empresas como a Tesla, Toyota e Mercedes animam as especulações sobre a aplicação do tema, que, como já dito anteriormente, se torna cada vez mais necessário.

Pode-se justificar este trabalho também como uma forma de contribuir para o estudo do assunto no Brasil, fazendo parte de interessados que pensam em alternativas para fomentar esta indústria em território nacional, procurando dentro deste mercado uma possível alternativa de conhecer cada vez mais sobre o universo automobilístico.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo do projeto serão apresentados os conceitos básicos de componentes automotivos e processos eletrônicos veiculares fundamentais para a compreensão dos sistemas de propulsão apresentados no trabalho.

2.1 Máquinas Elétricas

O conceito de máquina elétrica, segundo Chapman:

“Uma máquina elétrica é um dispositivo que pode converter tanto a energia mecânica em energia elétrica como a energia elétrica em energia mecânica. Quando tal dispositivo é usado para converter energia mecânica em energia elétrica, ele é denominado gerador. Quando converte energia elétrica em energia mecânica, ele é denominado motor.” (CHAPMAN, 2012).

Na indústria automobilística, possuímos alguns componentes importantes para o funcionamento e propulsão do veículo, sendo estes máquinas elétricas. Mais à frente neste trabalho os Motores elétricos existentes e utilizados nos VH's e VE's. (HUSAIN, 2003) (CHAPMAN, 2012).

2.2 Máquinas Térmicas

São denominadas Máquinas Térmicas as máquinas que convertem calor em trabalho. Seu processo de funcionamento é realizado em ciclos, no

qual duas temperaturas diferentes, sendo uma delas uma fonte quente (gera calor para o processo) e a outra uma fonte fria (recebe calor), ao serem envolvidas, geram Trabalho. Este processo pode ser observado na Figura 1 a seguir. (LORENZO et al, 2009).

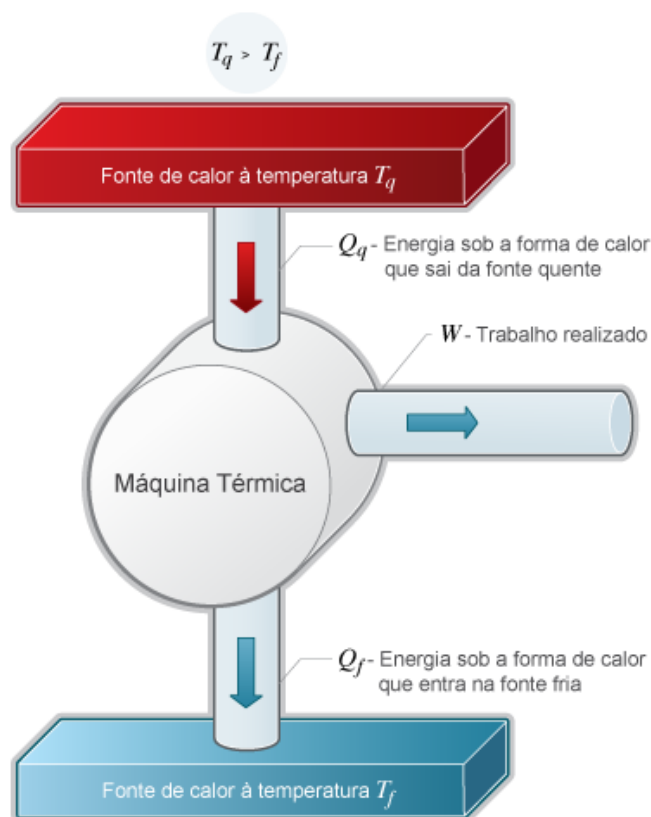


Figura 1 - Processo de conversão de Calor em Trabalho realizado por uma Máquina Térmica.

Fonte: website: <http://www.ebah.com.br>

Uma Máquina Térmica nunca é capaz de converter todo calor envolvido no processo em energia, por isso seu rendimento é sempre inferior à 100%.

No setor de transportes, o modelo mais famoso de Motor (modelo convencional de mercado) utilizado como Sistema de Propulsão é o Motor à Combustão Interna (MCI's), que é uma máquina térmica.

2.2.1 Motores de Combustão Interna (MCI's)

São considerados motores de combustão interna aqueles em que há um combustível sendo queimado no interior de um cilindro motor. Os motores a gasolina, a óleo diesel, a metano e a gás líquido se enquadram neste grupo.

Um motor de combustão interna possui partes fixas e móveis. Suas partes fixas não se movimentam quando o motor se encontra em funcionamento, enquanto que as móveis se movimentam nessa mesma situação.

- Principais partes fixas de um MCI:

- Bloco: Peça em ferro ou alumínio que aloja os cilindros e os suportes de apoio da cambota.
- Cáster: Recipiente que protege e assegura a lubrificação de determinados mecanismos do motor.
- Cabeça do motor: Peça que cobre a parte superior do bloco, sendo também onde se localizam as velas e as válvulas.

- Principais partes móveis de um MCI:

- Cambota: Peça que transforma o movimento do pistão em movimento circular e que se encontra ligada ao volante, responsável por transferir a energia mecânica para a caixa de velocidades do carro.
- Pistão: Peça cilíndrica normalmente feita de alumínio ou de uma liga de alumínio que se move no interior do cilindro devido à combustão realizada na câmara de combustão.
- Biela: Haste que liga o pistão à cambota e, como ambas as pontas da biela podem girar, permite uma mudança de ângulo, o que provoca o movimento giratório da cambota.

- **Árvore de Comando de Válvulas:** Mecanismo regulador da abertura das válvulas, através do seu movimento giratório. (LORENZO et al, 2009).

O conjunto destas peças fica esquematizado conforme a imagem da Figura 2.

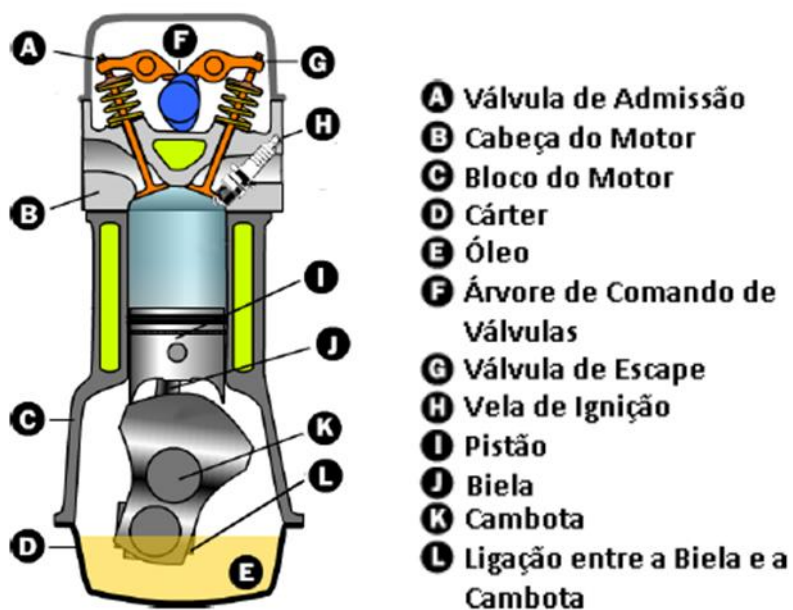


Figura 2 - Motor a Combustão Interna e suas partes.

Fonte: (LORENZO et al, 2009, p.6).

No setor automotivo, ocasionalmente os MCI's utilizados são motores de movimento alternativo, que veremos no próximo tópico.

2.2.2 Motores de Movimento Alternativo

Os motores de movimento alternativo funcionam em especial com o movimento diferenciado do êmbolo no interior do cilindro que transmite, através da biela, um movimento circular à cambota.

Esta máquina apresenta um sequenciamento de processos, realizado em 4 tempos de movimentos (daí temos a nomenclatura de Motor de 4 Tempos) ou em 2 tempos de movimentos (Motor de 2 tempos). Estas operações são:

- Admissão: Movimento em que o pistão aspira a mistura de ar e gasolina doseada pelo carburador.
- Compressão: O pistão sobe comprimindo a mistura de ar e gasolina.
- Expansão: Faísca proveniente da vela de ignição é responsável neste movimento pela inflamação e combustão da mistura, além do aumento da pressão e temperatura, neste movimento o pistão também é empurrado para baixo novamente.
- Expulsão: Válvula de escape é aberta e conseqüentemente, a pressão, descendo bruscamente ao valor da pressão atmosférica, imprime aos gases combustíveis a velocidade de saída do cilindro. (LORENZO et al, 2009).

A esquematização deste processo em um Motor de 4 Tempos pode ser observada na Figura 3.

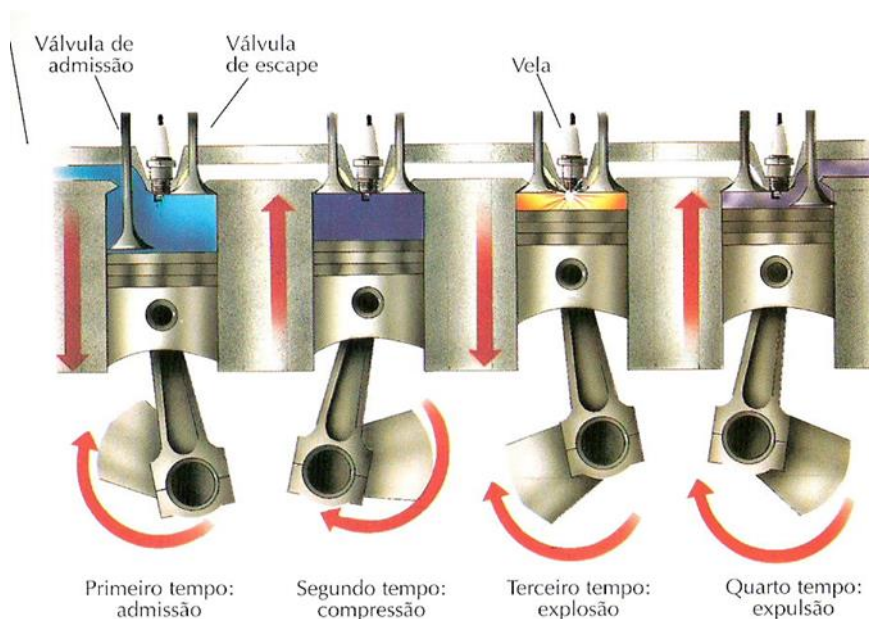


Figura 3 - Processo de combustão de combustível num Motor de 4 Tempos.

Fonte: website: <http://www.edsolique.com/>

2.3 Bateria

Conjunto de pilhas responsável por transformar energia química em energia elétrica, a partir de duas placas de composições distintas, denominadas eletrodos, sendo sempre um positivo e outro negativo. A reação química inicia quando ambos são mergulhados em uma composição denominada eletrólito, que pode ser líquido, sólido, ou pastoso. Ao conectarmos uma carga à este processo, o descolamento de elétrons de um eletrodo ao outro acarretará uma diferença de potencial e, conseqüentemente, uma tensão. (COSTA, 2011) e (GUSSOW, 2004).

A Figura 4 mostra a configuração básica de uma Bateria.

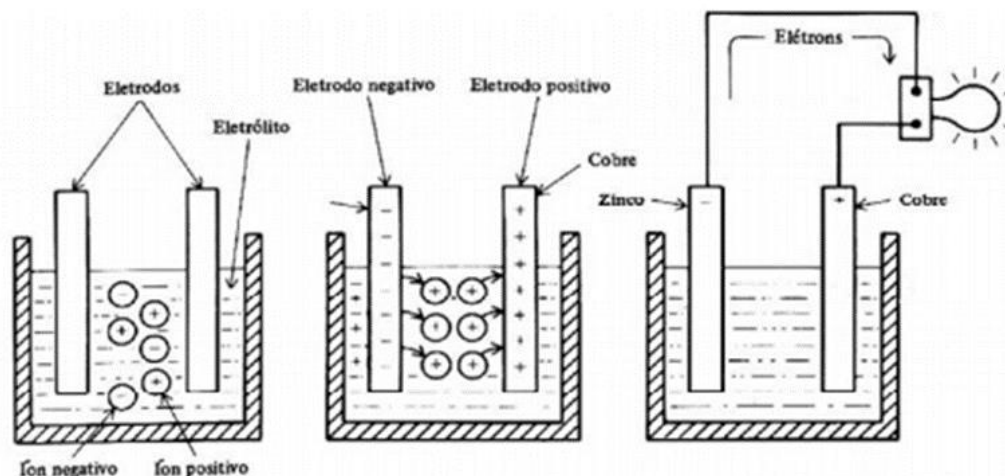


Figura 4 - Configuração básica de uma bateria e esquematização de seus componentes.

Fonte: GUSSOW, 2004.

A Bateria é um componente primordial para o funcionamento dos automóveis, a mesma se encontra presente tanto nos VCI's quanto nos VH's (Veículos Híbridos) e VE's (Veículos Elétricos), sendo fonte de energia elétrica (originalmente energia química que é convertida em elétrica dentro de seu processo) para os sistemas de propulsão (nos VH's e VE's, cujos converterão a energia elétrica em mecânica para realizar a locomoção do veículo) ou para alimentar as funções eletroeletrônicas do carro.

Cientistas desenvolvem constantemente novos tipos de baterias, que possuem suas características específicas, dentre estas especificidades estão as principais estudadas e comparadas na escolha do componente para aplicação automotiva:

- Energia específica: Quantidade de energia disponível da bateria a partir dos elementos químicos dos quais a mesma é feita, medida por unidade de massa, geralmente em Watt horas por quilogramas (Wh/Kg) (Watt horas por quilogramas).
- Poder específico: Potência de carregamento da bateria, medida em Watts (W).

- Tempo de operação: Toda bateria possui um tempo de vida limitado, o seu tempo de operação é definido pelo número de ciclos de descargas dentro do processo em que irá atuar, sendo capaz de delimitar o número de anos em que este componente conseguirá operar na determinada função. (HUSAIN, 2003).

2.3.1 Energia Específica x Poder Específico

A Energia Específica de uma bateria representa sua densidade, ou seja, quanta energia a mesma possui, enquanto o Poder Específico indica a quantidade de potência cuja bateria é capaz ceder em um processo.

Podemos afirmar, por exemplo, que uma Bateria alcalina possui uma Energia Específica alta, e baixo Poder específico, pois sua densidade de energia é grande, mas seu poder de carregamento é baixo. Por outro lado, temos os Supercapacitores, componentes de baixa densidade de energia, porém com níveis de carga muito grande (capazes de descarregar altas potências em microssegundos). Este último atualmente se encontra muito presente na tecnologia dos VE's, de forma a auxiliar as Bateria de Lítio a descarregar elevadas potências para o sistema. (HUSAIN, 2003).

A imagem da Figura 5 simula a relação descrita acima.



Figura 5 - Relação entre Energia Específica x Poder Específico.

Fonte: editada pelo autor a partir do website: <http://batteryuniversity.com>

Dentre inúmeros tipos de bateria, neste projeto citaremos apenas os modelos estudados e aplicados pela indústria automobilística, os quais serão especificados nos tópicos abaixo. (HUSAIN, 2003).

2.3.2 Modelos de Baterias Utilizadas no Setor Automotivo

Em destaque, temos as seguintes Baterias e suas respectivas aplicações automobilísticas:

- Bateria de Chumbo Ácido (PbA): Pode ser utilizada em todos os modelos de sistemas de propulsão, é o modelo mais utilizado em carros convencionais (VCI's). Embora seja uma bateria antiga (primeira Bateria de Chumbo Ácido foi produzida logo no início de 1859), está bem avaliada para a utilização em VH's e VE's por possuir um custo baixo, além de ser fácil de produzi-la e suas matérias primas se encontrarem bem disponíveis. (HUSAIN, 2003)

Sua construção consiste em dois grupos de eletrodos, os positivos e negativos, agrupados em forma de células, conforme pode ser visto na imagem da Figura 6.

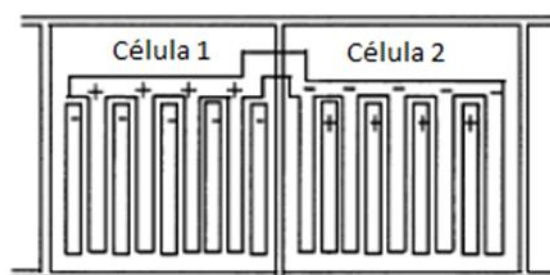


Figura 6 - Construção da Bateria de Chumbo Ácido.

Fonte: Imagem editada pelo autor a partir de HUSAIN, 2003, p. 50

- Bateria de Níquel Cádmio (NiCd): Sua Energia Específica é parecida ou superior (variando da marca e outras especificações) às Bateria de Chumbo Ácido, além de trabalhar melhor em baixas temperaturas, possuir baixa descarga de tensão, um bom tempo de vida e resistência. Porém ainda apresenta um alto custo de produção.

Ainda que consideradas em VH's e VE's, as especificações de Energia Específica das baterias de Chumbo Ácido e de Níquel Cádmio não são as mais recomendadas para estes sistemas por serem relativamente baixas, há uma necessidade de maior densidade de energia. Outro fator que se torna incomodo nestes modelos é o fato haver em suas configurações metais pesados tóxicos (Chumbo e Cádmio), o que dificulta o processo de reciclagem e os torna não amigáveis ao meio ambiente. Desta forma foram desenvolvidos novos modelos de bateria para eliminarem estes empecilhos, como por exemplo a bateria de Níquel-Hidreto Metálico e a Bateria de Lítio Íon. (HUSAIN, 2003).

- Bateria de Níquel-Hidreto Metálico (NiMH): Pode ser considerada a sucessora da Bateria de Níquel Cádmio, porém se destacando com Energia Específica e Poder Específico muito superiores. Estas especificações, para os modernos sistemas de propulsão encontram-se satisfatórias, porém ainda existem empecilhos neste modelo à serem considerados em sua escolha, como seu elevado custo e tempo de vida, que é baixo.

Pode-se ver na Figura 7 a configuração do processo químico realizado pela Bateria de Níquel-Hidreto Metálico. (HUSAIN, 2003)

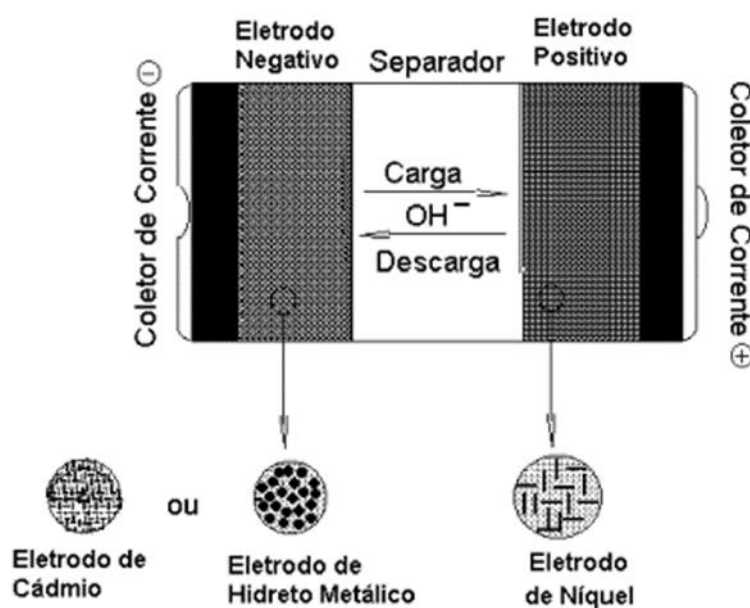


Figura 7 - Processo químico de uma Bateria de Níquel-Hidreto Metálico.

Fonte: retirado do artigo Baterias de níquel-hidreto metálico, uma alternativa para as baterias de níquel-cádmio, CANHA E TICIANELLI no website: <http://www.scielo.br/>

- Bateria de Lítio-Íon (Li ion): Bateria mais promissora em comparação às demais apresentadas para aplicação em VH's e VE's, ainda sendo introduzida nos projetos de montadoras, apresenta as maiores e melhores especificações químicas,

além de atuarem bem em altas temperaturas e possuem um preço de manutenção razoável. (HUSAIN, 2003).

O modelo de Bateria de Lítio-Íon nos veículos elétricos pode ser visto na Figura 8, que mostra a configuração do Nissan Leaf, projeto de carro elétrico produzido e comercializado pela empresa Nissan.



Figura 8 - Configuração das Baterias de Lítio-Íon no Nissan Leaf.

Fonte: website: www.g1.globo.com/

A Tabela 1 mostra o paralelo de especificações químicas das baterias apresentadas anteriormente.

Tabela 1 - Especificações químicas das baterias.

	PbA	NiCd	NiHM	Li-ion
Energia Específica [Wh/Kg]	<35	<50	<80	100 a 350
Poder Específico [W/Kg]	100	600	1000	1000 a 4000
Estabilidade de Ciclos	<1200 ciclos	<2000 ciclos	1000 ciclos	<4000 ciclos
Tempo de Operação	<5 anos	<15 anos	<10 anos	<10 anos

Fonte: Confeccionada pelo autor baseado em: eMAP (electromobility – scenario based Market potential, Assessment and Policy options) Schmid, et al., 2014.

Atualmente o Lítio tem ganhado valor em sua utilização como bateria recarregável, sendo aplicado em celulares e outras modernidades, até porque os aparelhos eletrônicos cada vez mais requerem menos tensão para serem acionados, e este modelo de bateria então se torna capaz de ser construído com a configuração de uma célula apenas (atualmente a maioria dos celulares mais modernos se configura desta maneira).

Os setores de transportes e de eletrônicos fizeram com que a demanda por este elemento químico se torne cada vez maior, uma vez que seus avanços dependem de sua aplicação como bateria. Podemos observar na Figura 9 as previsões de demanda de Lítio nos próximos anos. (MARINHO, 2016).

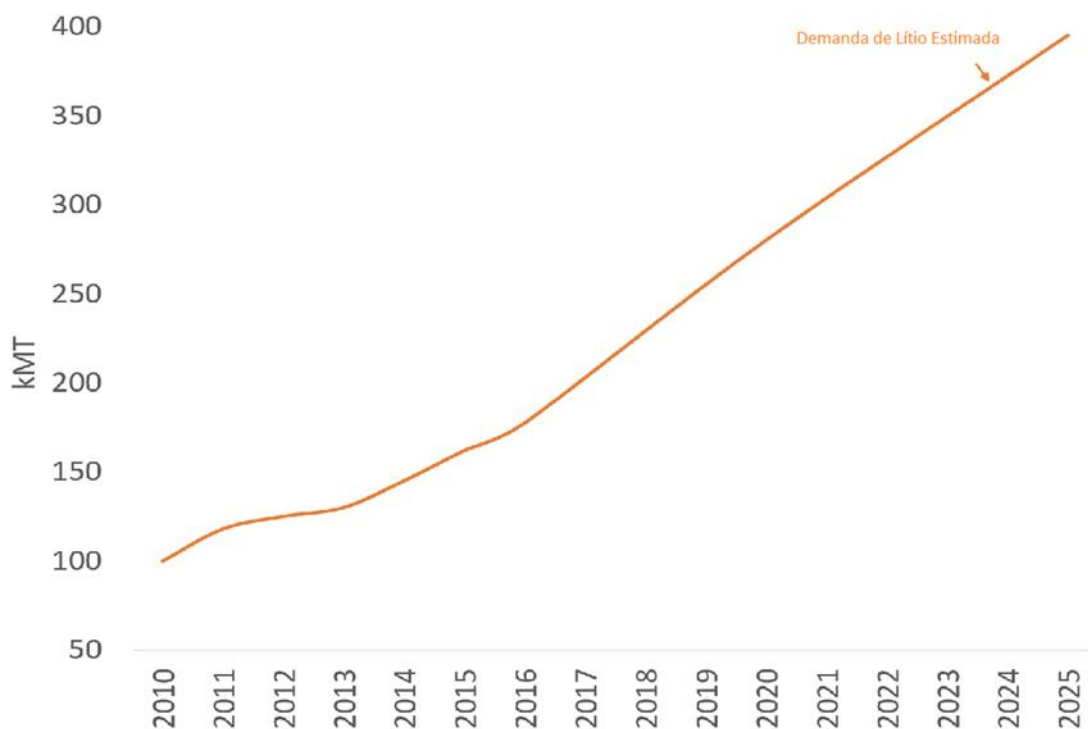


Figura 9 - Previsão de Demanda de Lítio no mundo (Em kMT).

Fonte: Adaptada pelo autor a partir da imagem do artigo Preparing for a Lithium Rush, BAJIKAR no website: <http://actevam.com>, 2016.

2.4 Células de Combustível

No tópico anterior a Bateria foi introduzida como fonte de energia para os automóveis em geral (focando nos tipos mais utilizados em VH's e VE's), porém não é só ela que possui este potencial de aplicação, as Células de Combustível também se encontram como fonte considerável para o carro elétrico. Além de ser uma tecnologia em crescimento, totalmente limpa e amigável ao meio ambiente, ela resolve algumas questões de desempenho para os VE's, as quais serão levadas em conta na análise do desempenho do mesmo, nos capítulos mais à frente.

A Célula de Combustível é um dispositivo que converte energia química em energia elétrica a partir da combustão eletroquímica a frio de um combustível, e é capaz de fornecer energia enquanto Oxigênio e Hidrogênio (estes são os combustíveis), forem injetados.

Com a configuração similar à de uma bateria, em um eletrodo de difusão gasosa (anodo) o Hidrogênio é oxidado à prótons, liberando elétrons, enquanto no eletrodo oposto (catodo) ocorre uma redução da reação química. Entre os dois há um material (pode ser um líquido, um polímero, ou um sólido) responsável pela reação eletrolítica. A quebra das células de Hidrogênio neste processo gera eletricidade e também há geração de água (em altas temperaturas, vapor). (HUSAIN, 2003) e (WENDT, et. Al, 1999).

Na imagem da Figura 10 a seguir temos a esquematização do processo de geração de energia de uma Célula de Combustível.

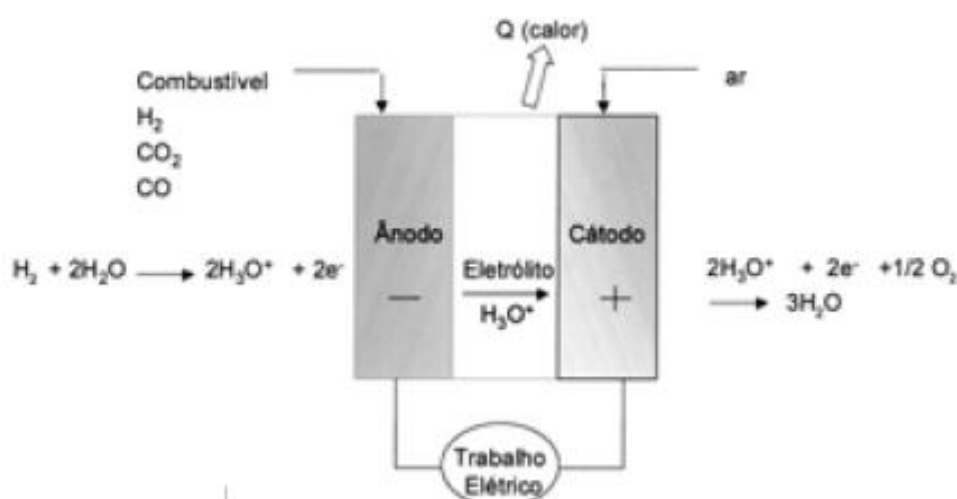


Figura 10 - Esquematização do processo de uma Célula de Combustível.

Fonte: imagem editada de WENDT et. Al, 1999, p. 1

2.4.1 Modelos de Células de Combustível

Existem várias configurações de Células de Combustível, mas para a aplicação no setor automobilístico podemos destacar cinco modelos:

- Célula de Combustível Alcalina (AFC): Este tipo de CC (Célula de Combustível) se utiliza de uma solução aquosa de Hidróxido de Potássio (KOH) como material eletrolítico. Presente no mercado há bastante tempo em diversas aplicações, possui uma eficiência de geração elétrica na casa dos 55%. Sua temperatura de operação é menor que as demais, trabalhando geralmente na casa de $80^{\circ}C$, fazendo com que seu calor residual não seja utilizado para cogeração.
- Célula de Combustível por Memória de Troca de Prótons (PEMFC): Composta por eletrólitos sólidos, também trabalha em baixas temperaturas, na casa dos $80^{\circ}C$, com eficiência de geração elétrica parecida à AFC, com médias atuais de 35 à 60%.
- Célula de Combustível a Metanol Direto (DMFC): Este tipo de CC é fruto de pesquisas com o objetivo de aplicar o combustível metanol nesta tecnologia, o qual já tem infraestrutura para abastecimento de automóveis em estradas. Dentro da tecnologia do VE, o mesmo é capaz de reestruturar o metanol, extraindo o Hidrogênio para a reação química. Trabalha nos mesmos princípios da PEMFC (Célula de Combustível por Memória de Troca de Prótons), exceto pelo aumento de temperatura, que trabalha na casa de 90 a $120^{\circ}C$. Sua eficiência de geração elétrica chega aos valores de 50%.
- Célula de Combustível de Ácido Fosfórico (PAFC): Versão mais antiga de CC, criada junto a origem do conceito desta fonte eletroquímica de energia. O Ácido Fosfórico é usado como eletrólito e sua temperatura de reação pode chegar a

200°C. Sua eficiência de geração elétrica fica próxima de 35 a 40%.

Embora seja considerada uma CC eficiente, este modelo não é muito recomendado para a utilização automobilística, porque possui uma estrutura muito volumosa, enquanto outros designs de CC's possuem especificações melhores e são mais fáceis de serem modelados dentro de uma estrutura veicular.

- Célula de Combustível de Óxido Sólido (SOFC): Composta por um sólido químico como eletrólito ao invés de uma solução aquosa ou um polímero, resultando em menores problemas de corrosão. Para obter condutividade iônica porém, este modelo precisa trabalhar em temperaturas altíssimas. Seu design original, por exemplo, opera na faixa de 1000°C. Sua eficiência de geração elétrica é alta, na faixa de 50 a 60% e seu sistema pode ser utilizado também para cogeração. (HUSAIN, 2003).

Apesar de ser um modelo de alta eficiência, não é muito recomendado para a instalação veicular, e sim para pontos estacionários de geração de energia.

A escolha de uma CC para um VE esbarra em alguns fatores, como estrutura do carro que deve ser modelada para suportar o sistema, além da montabilidade, a eletrônica embarcada veicular deve estar preparada para realizar a gestão do funcionamento da CC. (HUSAIN, 2003).

Baseado nas especificações químicas discutidas e apresentadas acima sobre cada tipo de CC, pode ser visto na Tabela 2 a lista de especificidades de todas as Células citadas.

Tabela 2 - Especificações das Células de Combustível.

	PEMFC	DMFC	AFC	PAFC	SOFC
Combustível	H ₂	CH ₃ OH	H ₂	H ₂	H ₂ ; CO; CH ₄
Eletrólito	Polímeros Sólidos (Geralmente Nafion)	Polímeros Sólidos (Geralmente Nafion)	Hidróxido de Potássio (KOH)	Ácido Fosfórico (Solução de H ₃ PO ₄)	Óxido Sólido (Zircônia, Ítria)
Carga Carregada no Eletrólito	H ⁺	H ⁺	OH ⁻	H ⁺	O ₂ ⁻
Temperatura Operacional (°C)	50 - 100	50 - 90	60 - 120	175 - 200	1000
Eficiência (%)	35 - 60	<50	35 - 55	35 - 45	50 - 60
Tamanho da Unidade (KW)	0.1 - 500	<<1	<5	5 - 2000	>2,5
Custo de Instalação (\$/KW)	4000	>5000	<1000	3000 - 3500	1300 - 2000

Fonte: adaptada pelo autor de MARINHO; Apostila Curso de Veículos Elétricos e Híbridos SAE; p. 243.

De forma estrutural e analisando todos os fatores apresentados na Tabela 2 acima, as duas melhores CC's para serem aplicadas em veículos são as Alcalinas (AFC) e a de Memória de Prótons (PEMFC). (HUSAIN, 2013).

2.5 Eletroeletrônica veicular

Neste capítulo será explicado de maneira generalizada como funciona uma arquitetura elétrica veicular, apresentando os princípios básicos de funcionamentos eletroeletrônicos.

2.5.1 Arquitetura Elétrica

Arquitetura Elétrica é o conjunto de sistemas eletrônicos implementados em uma certa aplicação embarcada, e gerenciada por uma sistema de controle, composto por diversos sensores, atuadores e centrais de processamento.

O processamento das informações é distribuído por várias Unidades de Controle (ECU's - Electronic Control Units), capazes de tanto ler informações sobre o funcionamento de diversas funções e componentes, quanto atuar comandando acionamentos de dispositivos e ferramentas importantes na condução.

Atualmente, com os avanços tecnológicos, os automóveis abrangem diversas novidades eletrônicas, desta forma possuem várias Unidades de Controle, numa Arquitetura Distribuída, onde cada Unidade possui sua responsabilidade dentro do sistema, trocando informações entre si de maneira multiplexada, a partir de um protocolo de comunicação conhecido como Rede CAN (Controller Area Network). (HODEL, 2009).

Na figura 11 a seguir podemos observar o funcionamento de Arquitetura Distribuída. (HODEL, 2009).

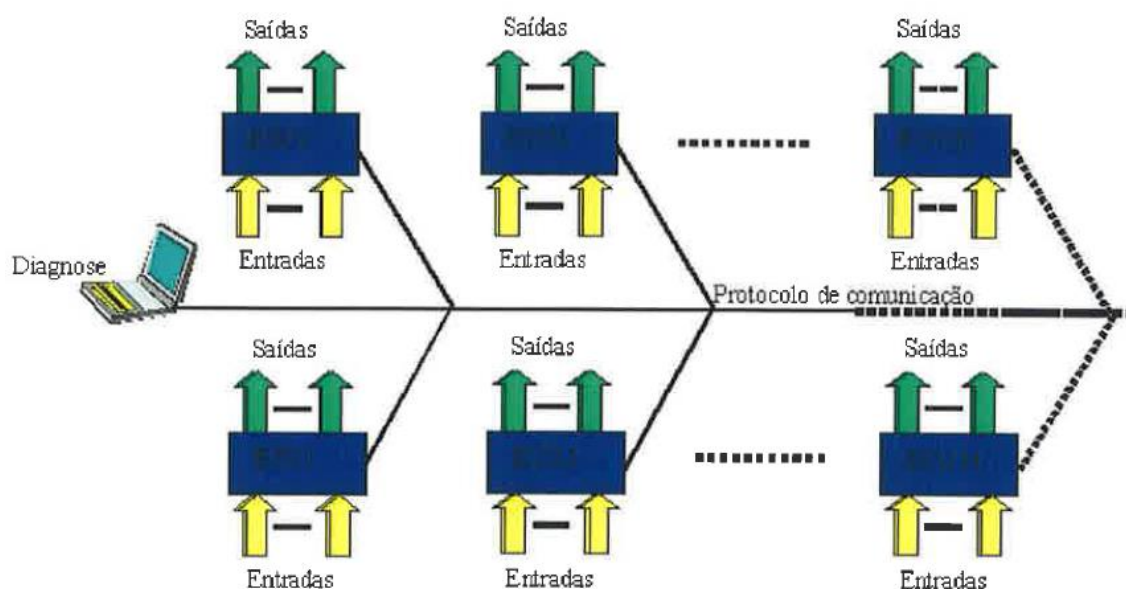


Figura 11 - Arquitetura Elétrica Distribuída.

Fonte: Imagem retirada de HODEL, 2009, p. 22

2.5.2 Rede CAN

Em busca de um protocolo de comunicação satisfatório para o bom funcionamento em sistemas veiculares, a Rede CAN se destacou no mercado. Este sistema é conhecido pela transmissão de altas taxas de informações, pois a mesma opera com informações em tempo real, o que permite um diagnóstico detalhado das informações do veículo, além de ser robusta o bastante, não tendo o funcionamento prejudicado por ambientes móveis.

A partir do conceito Multi-Mestre (possui mais de um nó controlador) de comunicação, a Rede CAN também é capaz de se comunicar com todas as Unidades de Controle e consegue detectar e agir em possíveis falhas de comunicação geradas por algum problema de Hardware, Software (nas ECU's) e interferências externas.

Em sua característica física mais usual, o enlace serial é composto por dois fios, de sinais barrados.

Na Figura 12 a seguir, por exemplo, podemos observar a importância da Rede CAN na ligação de várias Unidades de Controle em um automóvel Citroën C5. A característica de comunicação deste carro consiste em uma Rede CAN de em High Speed (alta velocidade de comunicação) e três Redes VAN de Low Speed (modelo similar de rede, porém em baixa velocidade de comunicação e seguindo os padrões usados pela empresa PSA Peugeot Citroën em alguns de seus modelos mais antigos). (HODEL, 2009)

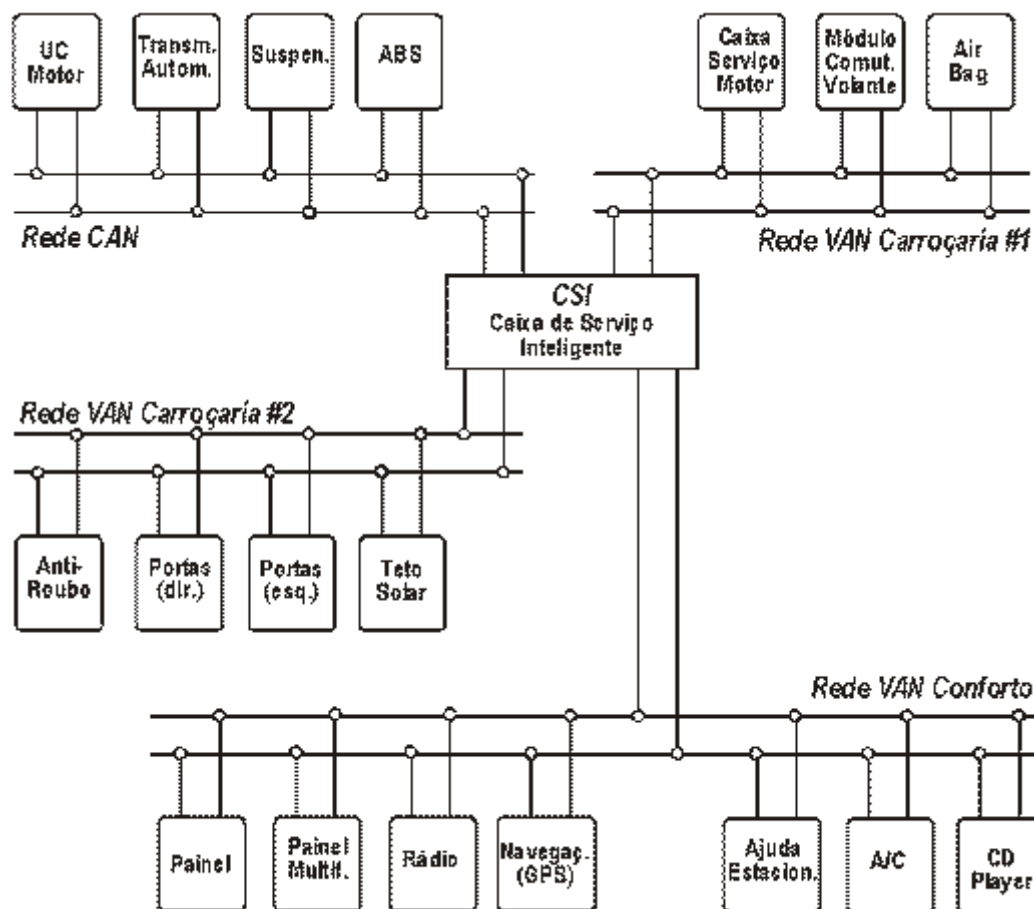


Figura 12 - Multiplexagem Citroën C5.

Fonte: Imagem retirada de Sistemas Imobilizador Veicular, SENAI DR-BA, 2007, p. 25

2.6 Funcionamento de um Sistema de Propulsão Elétrico

Tem-se por VE's sistemas de propulsão que se utilizam unicamente de uma fonte de energia elétrica para alimentar seu eixo de transmissão. Este sistema, embora antigo, possui tecnologia sendo desenvolvida a cada instante e os resultados vem o tornando como a melhor alternativa para o futuro automobilístico, tendo em vista o fato que seu índice de emissão é zero. (HUSAIN, 2003).

2.6.1 Tipos de Automóveis Elétricos e seus componentes básicos

Existem dois tipos de VE's, os Veículos Elétricos a Bateria (VEB) e os Veículos Elétricos a Célula de Combustível (VECC).

2.6.1.1 Veículos Elétricos à Bateria

Sistema mais convencional de VE, no qual todo o suprimento de energia elétrica para atuação do motor é garantido por uma Bateria Recarregavel atuando no sistema. Um dos nomes de mais sucesso no mercado dos carros elétricos é o Tesla S AWD e este será usado como exemplo no capítulo de maneira explicitar algumas especificações dos componentes principais.

Podemos citar como componentes principais deste sistema:

- Bateria

O modelo mais promissor de Bateria e usualmente escolhido para a utilização neste VE é a Bateria de Li-Ion. Responsável pelo fornecimento de energia ao Motor Elétrico, além de atuar como fonte de energia para os outros componentes eletroeletrônicos e acessórios do carro, assim como a Bateria de Chumbo Ácido faz nos VCI's jogando tensão para as Unidades de Controle via

rede CAN. Quanto ao carregamento da mesma, existem duas formas de alimentá-la: via Plug-in Charging ou via Regenerativa Breaking.

Antes da explicação sobre o funcionamento dos sistemas de carregamento da bateria, é importante entender que para este tipo de veículo movido à Bateria foi desenvolvido uma Unidade de Controle dedicada ao gerenciamento de informações do estado de carga e energia disponível no sistema, esta é conhecido por Battery Management System (BMS). A BMS é a Unidade de Controle responsável por processar e atuar sobre os valores de carga da Bateria além de informar estas informações às outras UC's.

O Sistema Plug-In Charging permite que a Bateria seja carregada via tomada, transferindo energia elétrica de uma rede à mesma. Para que isso aconteça, há o trabalho dos componentes de Eletrônica de Potência no carro que são capazes de elevar a tensão da rede de 110 V para a quantidade específica, no caso do Tesla S AWD, por exemplo, 402 V.

Em frenagens leves e baixas velocidades, é possível captar energia dos freios (que em VCI's normalmente seriam dissipadas) e transmitir até a bateria com o objetivo de carregá-la, isto se chama Regenerative Breaking. (HUSAIN, 2003), (MARINHO, 2016).

- Conversor de Potência

A Bateria trabalha com tensão contínua, enquanto o Motor Elétrico é na maioria das vezes um motor de tensão alternada (os modelos mais escolhidos do mercado são os Motores de Indução e o Motor Síncrono de Ímã Permanente), desta forma é necessária a ajuda da Eletrônica de potência com a instalação de conversores no sistema de propulsão para que a energia seja convertida para o motor trabalhar. O conversor utilizado no Veículo Elétrico é um Inversor Bidirecional, isso se deve pois o mesmo é capaz de converter

tanto a tensão da bateria para o motor, quanto converter a tensão do motor para a bateria em casos de Regenerative Breaking.

- Motor Elétrico

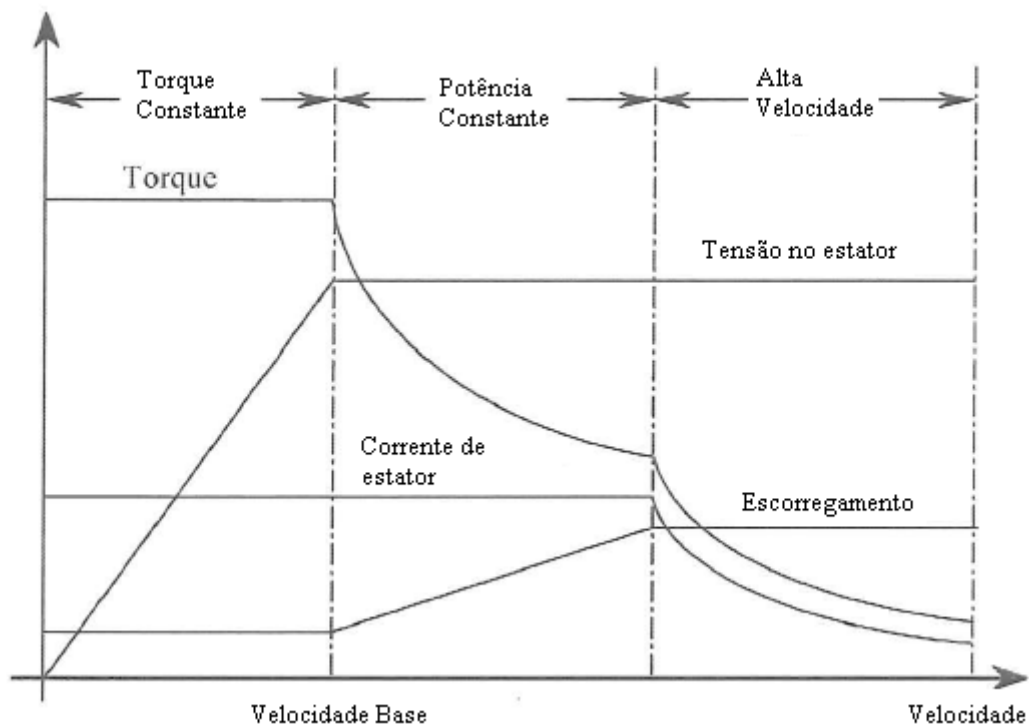
É o responsável por converter energia elétrica em cinética para a transmissão e ocasionar o movimento do veículo. Geralmente são motores elétricos de Indução, por isso trabalham com corrente AC. Geralmente os motores escolhidos para atuar nos VE's são os Motores de Indução e os Motores Síncrono de Ímã Permanente. (ZERAOULIA et. Al, 2006)

- Motor de Indução

O Motor de Indução Assíncrono é um dos mais utilizados no mercado. Possui como principais características o baixo custo, baixa necessidade de manutenção e a robustez para operar em ambientes hostis. Uma característica importante na aplicação veicular é seu torque instantâneo.

O comportamento das especificações deste motor pode ser observado na imagem da Figura 13:

Gráfico 5 - Comportamento Torque x Velocidade do Motor de Indução.



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de ZERAOULIA et. Al, 2006, pg. 1760.

Conforme observado no comportamento de suas especificações, o mesmo possui torque instantâneo logo no início de seu acionamento pelo condutor, porém sua grande desvantagem é a queda deste torque nas altas velocidades, consequência da diminuição da eficiência neste ponto. (ZERAOULIA et. Al, 2006)

Na Figura 13 pode ser visto um motor de indução.



Figura 13 - Visão externa de um motor de indução.

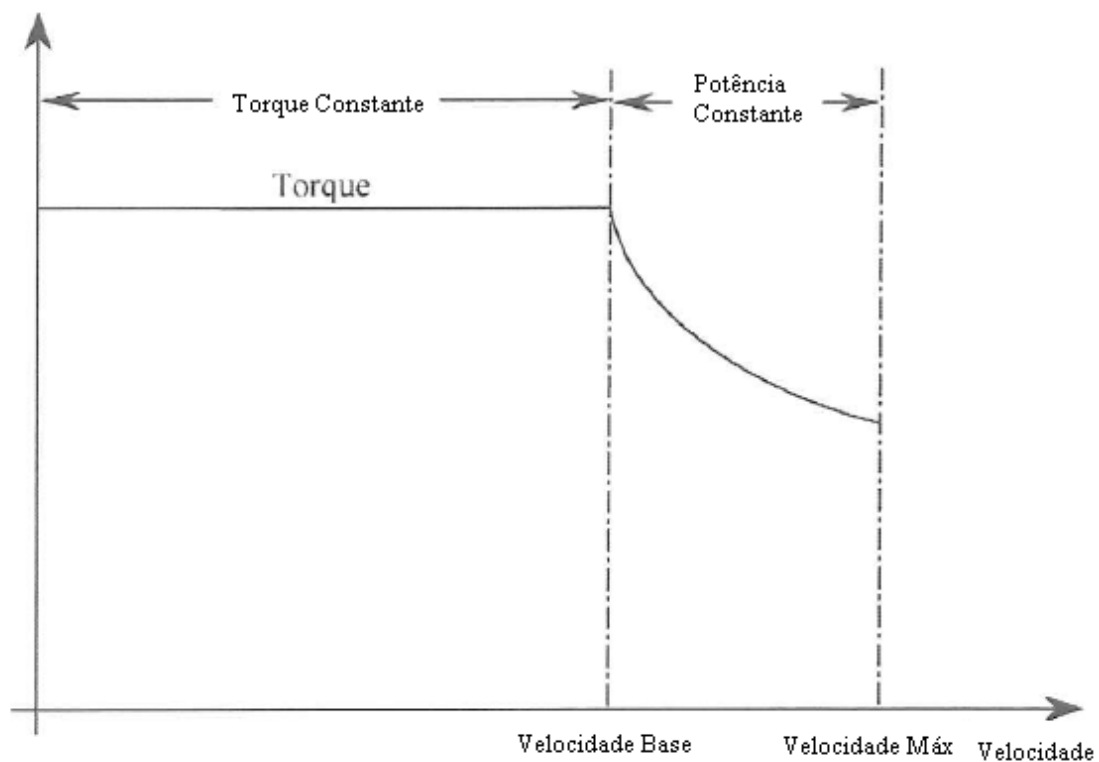
Fonte: ZERAOULIA et. al, 2006, p. 1758

- Motor Síncrono de Ímã Permanente

Motor elétrico de maior potencial no setor automotivo. É um motor síncrono que não possui escovas. Suas principais características são o baixo peso e volume (motor relativamente pequeno), maior eficiência entre os motores elétricos aplicáveis no setor automotivo, além de dissipar muito bem o calor em seus arredores. (ZERAOULIA et al., 2006), (CHAPMAN, 2012).

No Gráfico 6 pode-se verificar o comportamento de torque versus velocidade deste motor.

Gráfico 6 - Torque versus velocidade do Motor Síncrono de Ímã permanente.



Fonte: ZERAOULIA et al., 2006, p. 1760

Na Figura 14 é demonstrado um Motor Síncrono de Ímã Permanente na indústria automotiva.



Figura 14 - Motor síncrono de ímã permanente.

Fonte: ZERAOULIA et al., 2006, p. 1760

A esquematização deste sistema de propulsão, depois de apresentados todos os seus componentes se dá da seguinte forma apresentada na Figura 15.

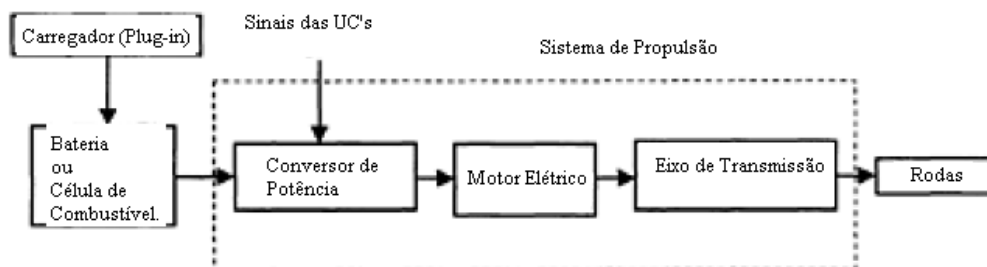


Figura 15 - Sistema de propulsão Elétrico.

Fonte: HUSAIN, 2003, p. 2.

A bateria recarregável tem sua energia transmitida ao motor elétrico, porém antes é convertida por um inversor de potência responsável pela conversão dc/ac. O motor elétrico recebe esta energia elétrica a qual realizará

a conversão para mecânica e transferirá ao eixo de transmissão, que por meio do diferencial distribuirá às rodas para que o movimento do veículo ocorra. Quando o condutor pisa no pedal do freio levemente, a energia mecânica do freio é transmitida das rodas pelo eixo de transmissão até o motor elétrico, que desta vez, atua como um gerador convertendo-a para energia elétrica, realizando o processo contrário à aceleração, o motor (agora gerador) recarregará a bateria desta vez, o inversor de potência é bidirecional e neste caso realiza a conversão ac/dc. A Figura 16 simula bem este funcionamento. (HUSAIN, 2003).

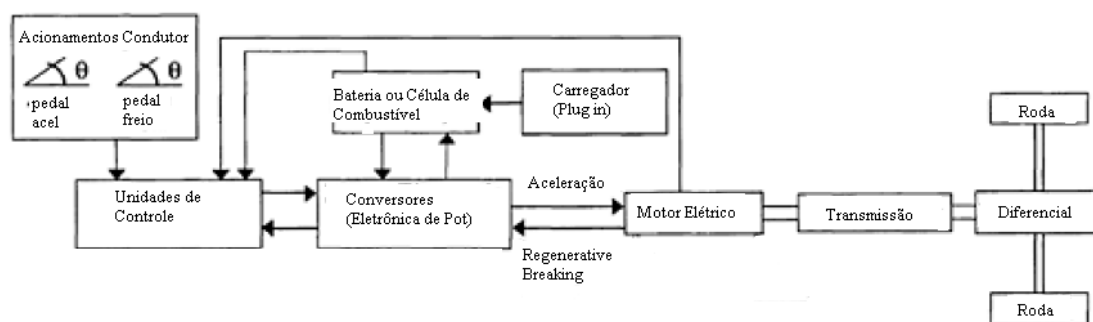


Figura 16 - Diagrama sistema de propulsão puro elétrico.

Fonte: HUSAIN, 2003, pg. 3

2.6.1.2 – Veículos Elétricos de Célula de Combustível

Também existem no mercado de desenvolvimento de veículos Elétricos os carros onde a sua fonte de energia é a Célula a Combustível. A grande diferença deste modelo para o principal diferença é justamente a substituição da bateria pela célula de combustível. Além disso, é adicionado ao mesmo um tanque de combustível para que a mesma seja abastecida. (HUSAIN, 2003).

2.7 Funcionamento de um Sistema de Propulsão Híbrido

Os significados da palavra Híbrido explicam bem o conceito de funcionamento deste tipo de veículo:

"Híbrido:

Significado 2 - Que ou o que tem dois ou mais elementos diferentes em sua composição.

Significado 5 - Que ou o que utiliza mais do que uma fonte de energia para o seu funcionamento. (Dicionário Aurélio online, 2017)."

Desta forma podemos exemplificar os VH's como automóveis que possuem sua transmissão (componente veicular responsável pelo movimento do mesmo) alimentada por duas fontes de energia diferentes.

Na atual conjuntura dos índices de emissão de gases poluentes na Terra junto ao alcance ainda limitado dos Veículos Puro Elétricos sendo desenvolvidos, os VH's se encontram como uma excelente solução por também serem capazes de reduzir os índices de emissão e possuírem um alcance similar aos VCI's, sendo assim, em curto prazo este tipo de carro é visto com bons olhos por grande parte das pessoas interessadas em tecnologia automobilística.

Seu funcionamento básico consiste na presença de um Motor de Combustão Interna e um Motor Elétrico, capazes de atuar em momentos distintos da rodagem do automóvel, ou em alguns tipos atuando juntos para obter a maior autonomia, este sistema requer uma mecânica e eletrônica de controle e potência avançadas para que a gestão das duas fontes provedoras de energia sejam utilizadas da maneira mais correta possível. (HUSAIN, 2003)

2.7.1 Tipos de Automóveis Híbridos e seus componentes básicos

Existem dois tipos de VH's, os Veículos Híbridos em Série (VHS's) e os Veículos Híbridos em Paralelo (VHP's).

2.7.1.1 Veículos Híbridos em Série.

Tipo mais simples de sistema de propulsão híbrida, onde o MCI apenas fornece energia à um Gerador Conversor que alimentará a Bateria do sistema, toda a movimentação do carro é ocasionada pelo bom funcionamento do Motor Elétrico assim como nos VE's. O exemplo mais bem sucedido hoje deste tipo de configuração no mercado é o Chevrolet Volt, neste capítulo o mesmo será usado de exemplo para citar algumas especificações dos componentes mais importantes. (MARINHO, 2016).

Podemos citar como componentes básicos deste sistema:

- Motor a Combustão interna

MCI neste modelo é responsável apenas pelo fornecimento de energia ao Gerador Conversor, trabalhando a partir do momento em que a carga da Bateria começa a se esgotar. No Chevrolet Volt possui um motor de 84 cavalos vapor, 16 válvulas de 1,4 litros que quando trabalha em baixa demanda possui um giro de 2500 rpm, quando exigido de forma mais drástica pode chegar à 4800 rpm, fornecendo ao sistema elétrico 63 KW.

- Gerador

Este Gerador será o responsável por converter a energia mecânica do MCI em energia elétrica com o objetivo de carregar a bateria do sistema em momentos de baixa carga, permitindo que o processo de movimento por meio do Motor Elétrico continue.

- Bateria

Um dos principais componentes do carro, geralmente a bateria recarregável escolhida para este tipo de veículo é a de Li-Ion (No Volt esta bateria possui 16 KW de potência) por diversos fatores como sua Energia Específica, Poder Específico, Estabilidade de Ciclos e Tempo de Operação. Elas fornecem energia para o Motor Elétrico atuar sobre o sistema de propulsão, além de atuar como fonte de energia para os outros componentes eletroeletrônicos e acessórios do carro, assim como a Bateria de Chumbo Ácido faz nos VCI's jogando tensão para as Unidades de Controle via rede CAN. Quando a bateria começa a se esgotar a Unidade de Controle BMS (Battery Management System) comanda o acionamento do MCI, que conforme citado acima, alimentará o Gerador para que ela se recarregue.

Assim como em veículos Puro Elétricos, algumas configurações como o Chevrolet Volt possuem o sistema de Plug In, onde é possível recarregar a bateria direto de uma tomada, isto é possível graças aos componentes de Eletrônica de Potência no carro que são capazes de elevar a tensão da rede de 110 V(nos Estados Unidos, mercado do Chevrolet Volt) para os 360V que são necessários. (HUSAIN, 2003).

- Unidades de Controle de Bateria, Motor e Freio + Inversor DC/AC

Nos sistemas híbridos a Eletrônica de controle e potência também possuem importância relativamente grande, pois o modelo trabalha em diversos pontos da carroceria com diferentes níveis e tipos de tensão. A Bateria Li-ion fornece a energia elétrica para o motor via DC, desta forma é necessário um Inversor DC/AC (nos casos de motores de Indução ou de Ímã Permanente), que por meio de diversos componentes e recursos eletrônicos como o transistor IGBT e PWM são capazes de transformar essa tensão em valores alternados, para que o motor possa trabalhar. A Unidade de Controle motor será quem dará o comando de quanta energia será convertida, através do processamento instantâneo de informações (Rede CAN) da demanda de aceleração do condutor, solicitando o valor demandado da Bateria e acionando o Inversor DC/AC para que o mesmo atue.

Outra coisa importante a se lembrar é que assim como nos VE's, há neste sistema também o Regenerative Breaking trazendo energia das frenagens leves e baixas velocidades direto da transmissão para a carga da Bateria, outro momento de atuação importante dos conversores da eletrônica de potência.

- Motor Elétrico

É o responsável por converter energia elétrica em cinética para a transmissão e ocasionar o movimento do veículo. Geralmente são motores elétricos de Indução ou motores síncronos de Ímã permanente, por isso trabalham com corrente AC, como por exemplo, o motor do Chevrolet Volt que possui 111 KW, equivalente a cerca de 150 CV. (MARINHO, 2016), (HUSAIN, 2003).

A grande vantagem deste modelo híbrido mais simples são as curtas viagens, há muita economia de combustível e os índices de emissão de gases quase inexistem, a partir do ponto de vista que este sistema só realiza trabalho de locomoção com o Motor Elétrico e em baixas velocidades o Regenerative Breaking está funcionando quase sempre recarregando a Bateria de Li-ion.

Porém, mesmo sendo simples é um sistema que requer 3 componentes motores (Um MCI, um gerador e um motor elétrico). Além disso, para longas distâncias e altas velocidades, o motor elétrico trabalhando sozinho nesse caso exigirá muito da bateria que se esgotará rapidamente (lembrando que em altas velocidades e em longas distâncias percorridas em estradas o freio é pouco utilizado e o Regenerative Breaking quase não acontece), forçando que o MCI comece a atuar de forma constante para recarregar a bateria, diversas vezes, rotacionando de maneira elevada. Ou seja, é um sistema que requer um dimensionamento dos seus componentes com o objetivo de funcionarem em capacidade máxima em longas distâncias. (MARINHO, 2016), (HUSAIN, 2003), (DIALLO, et.al, 2006).

A esquematização deste sistema de propulsão então, depois de apresentados todos os seus componentes se dá da seguinte forma apresentada na imagem da Figura 17.

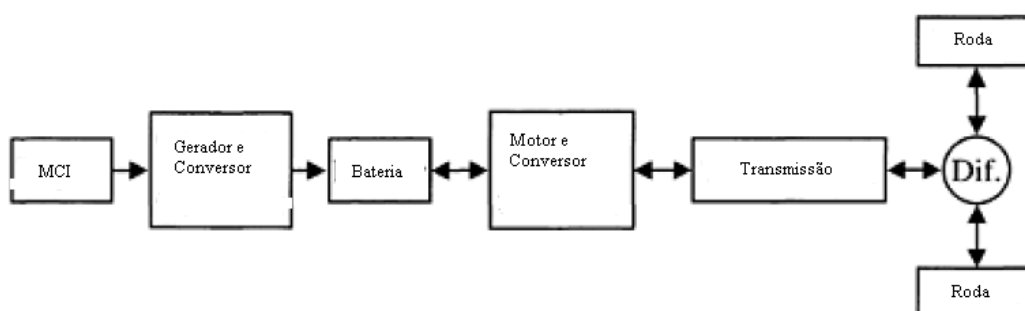


Figura 17 - Sistema de propulsão Híbrido Série.

Fonte: HUSAIN, 2003, p. 244

Além disto, a imagem da Figura 18 a seguir simula bem seu funcionamento.

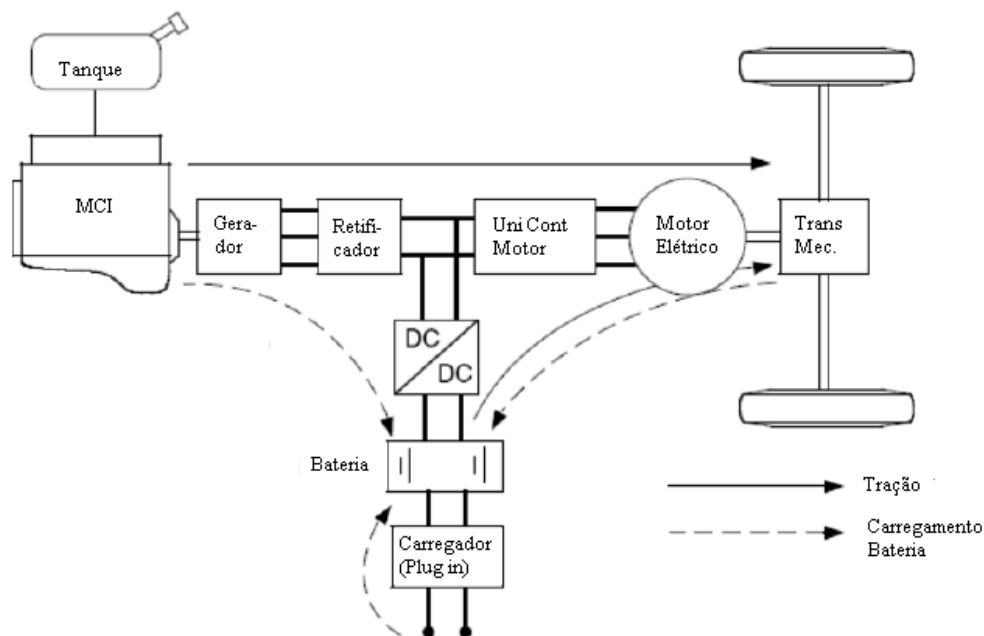


Figura 18 - Diagrama funcionamento sistema de propulsão Híbrido Série.

Fonte: MARINHO, 2016, p. 100

2.7.1.2 Veículos Híbridos em Paralelo

Sistema mais complexo de propulsão híbrida, nos modelos paralelos, tanto o MCI quanto o Motor Elétrico estão ligados no eixo de transmissão em engates separados e os dois componentes são responsáveis por transferir energia cinética ao eixo, seja trabalhando sozinhos, hora o MCI, hora o Motor Elétrico, seja trabalhando juntos, ligados à um acople mecânico que transmite ao eixo as duas energias. (HUSAIN, 2003).

Podemos citar como componentes básicos deste sistema:

- Motor a Combustão Interna

O MCI funciona de forma standard como nos VCI's, porém são modelos bem menores em tamanho já que dividem a responsabilidade de fornecimento de energia para a transmissão com o motor elétrico.

- Bateria

Um dos principais componentes do carro, geralmente a bateria recarregável escolhida para este tipo de veículo é a de Li-Íon por diversos fatores como sua Energia Específica, Poder Específico, Estabilidade de Ciclos e Tempo de Operação. Elas fornecem energia para a Unidade de Controle Motor que serão responsáveis por transmitir para o Motor Elétrico atuar sobre o sistema de propulsão, além de atuar como fonte de energia para os outros componentes eletroeletrônicos e acessórios do carro, assim como a Bateria de Chumbo Ácido faz nos VCI's jogando tensão para as Unidades de Controle via rede CAN. Pode ser recarregada via Regenerative Breaking e via tomada caso o automóvel seja Plug In, utilizando-se da eletrônica de potência para elevar a tensão da rede para suprir os valores necessários para o carregamento da mesma. (HUSAIN, 2003), (MARINHO, 2016).

- Unidades de Controle dos Motores, da Bateria e do Freio

Este sistema requer menos conversões de tensão, desta forma as unidades de controle atuam de forma mais padronizada (em comparação aos VHS's), apenas processando as informações de momento de acionamento dos motores (MCI e Motor elétrico), gestão de carga da Bateria e informações sobre o Regenerative Breaking. A Unidade de Controle Motor faz atua como Inversor DC/AC passando também os valores contínuos da Bateria para AC, para que o Motor possa trabalhar. (HUSAIN, 2003).

- Motor Elétrico

Por dividir a responsabilidade com o MCI, pode ser um motor elétrico também menos robusto para fornecimento de energia ao sistema, geralmente são usados Motores Síncronos de Ímã Permanente, como no caso do Honda Civic 06 IMA que possuía um motor de 15KW. Vale ressaltar que em movimento reverso (Regenerative Breaking), o motor atua como Gerador, levando a energia com destino final ao carregamento da bateria. (HUSAIN, 2003).

- Acoplador de Torque

Para que a aplicabilidade dos motores seja bem realizada, os dois são encaixados em um Acoplador de Torque. Peça mecânica na transmissão responsável por harmonizar o torque das duas máquinas e permitir fluidez na alternância ou na convivência do funcionamento dos dois motores.

Portanto, pode-se concluir que os VHP's funcionam praticamente de forma similar aos VCI's, só que com menor nível de emissão e boa economia de combustível, tendo em vista que em velocidades menores este modelo

consegue trabalhar só com o motor elétrico. O MCI só é acionado quando necessário.

A grande vantagem deste sistema é realizar poucas conversões de energia, desta forma há menos perdas durante as conversões. Porém, é um sistema que torna a Eletrônica de Controle mais avançada, pois a constante necessidade das Unidades de Controle Motoras de ajustar e preparar as alternâncias de motor via as peças mecânicas como o Acoplador de Torque torna esta eletrônica bem avançada. (MARINHO, 2016), (HUSAIN, 2003), (DIALLO, et al., 2006)

A esquematização deste sistema de propulsão então, depois de apresentados todos os seus componentes se dá da seguinte forma apresentada na Figura 19.

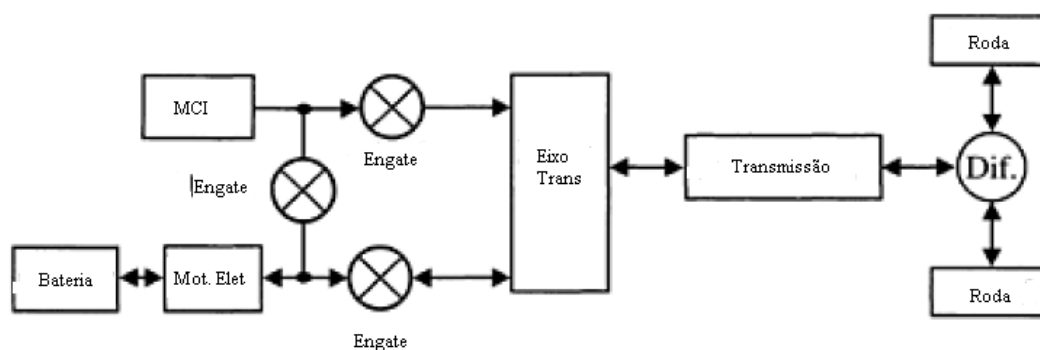


Figura 19 - Sistema de propulsão Híbrido Paralelo.

Fonte: HUSAIN, 2003, p. 244

Além disto, a Figura 20 simula bem seu funcionamento.

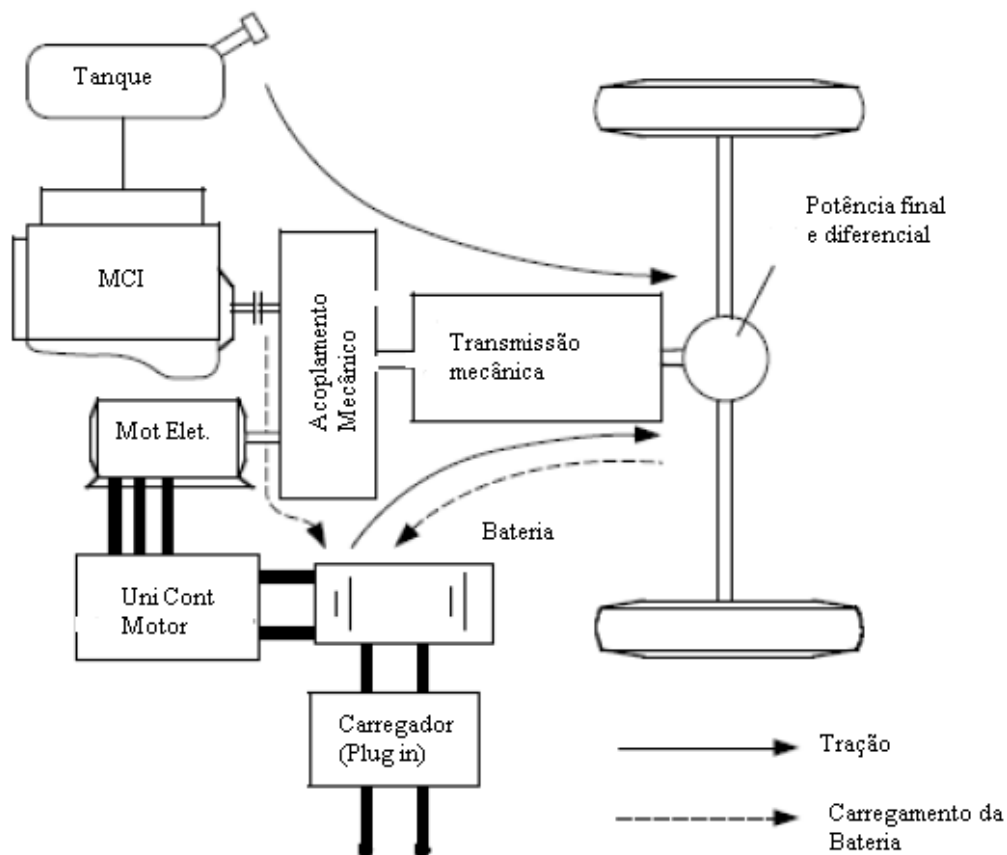


Figura 20 - Diagrama funcionamento sistema de propulsão Híbrido Paralelo.

Fonte: MARINHO, 2016, p. 103.

2.7.1.3 - Veículos Híbridos em Série Paralelo

Existem ainda modelos que decidiram aproveitar as principais vantagens dos sistemas em Série e em Paralelo, juntando os dois sistemas de propulsão em um único, este é o caso do nome pioneiro em hibridismo veicular, o Toyota Prius.

Também conhecido como Power Split, este sistema se utiliza de um dispositivo mecânico que é capaz de controlar quais motores se encarregarão de transmitir potência ao eixo de transmissão sem retirar as configurações de

funcionamento em série. Este se chama Planetário. (MARINHO, 2016), (HUSAIN, 2003).

O Planetário transmite a potência do MCI para o eixo, assim como para o Gerador. Desta forma, este sistema também é capaz de realizar o carregamento da Bateria através do MCI. A potência do Motor Elétrico também é utilizada pelo Planetário para transmitir energia cinética para o eixo, podendo atuar em conjunto com o MCI, como nos modelos em paralelo. Como nos modelos anteriores, o Inversor também é bidirecional, possibilitando o Regenerative Breaking. Tudo isto é possível graças á uma Unidade de Controle Central que recebe as informações de acionamento de motor de cada outra Unidade de Controle e realiza a gestão do Planetário.

Este sistema possui um funcionamento muito bom, partindo do princípio que acumula as principais vantagens de cada modelo de híbrido. Porém, o Planetário é um dispositivo mecânico relativamente complexo e patenteado pela Toyota, além de ser um modelo mais caro. (HUSAIN, 2003), (MARINHO, 2016).

A esquematização deste sistema de propulsão então se dá da seguinte forma apresentada na imagem da Figura 21.

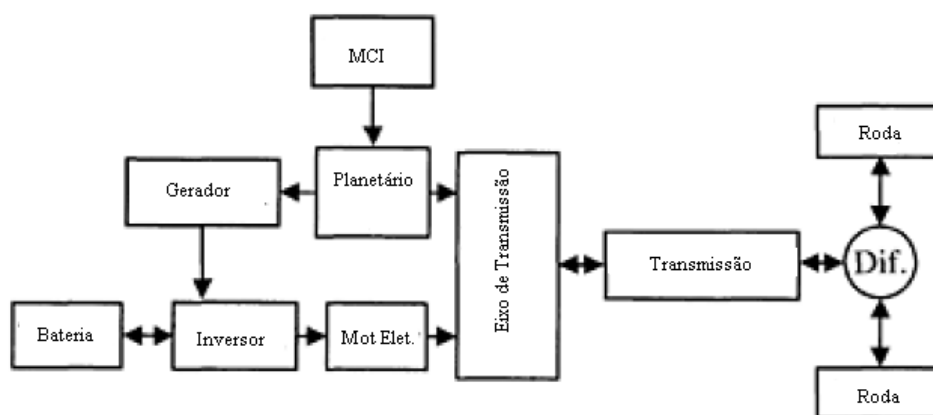


Figura 21 - Sistema de propulsão Híbrido Power Split

Fonte: HUSAIN, 2003, pg. 246.

3. METODOLOGIA

A análise de performance de veículos híbridos e elétricos realizada neste trabalho será voltada à aplicação dos mesmos no mercado de carros auto e comerciais leves zero quilômetro no Brasil, levando em conta os aspectos mais importantes em termos de comparação dos sistemas de propulsão e o perfil brasileiro de consumidor de automóveis, de maneira a delimitar pesos nas comparações.

Os aspectos levados em conta são:

- Análise de Performance Motor
- Análise de Performance Ecológica
- Análise de Performance Econômica

Depois de comparados os dados, fatores externos do atual cenário brasileiro de mobilidade urbana também serão colocados em pauta com o objetivo de dissecar ainda mais a performance geral de um VH e de um VE no país.

Quanto aos dados recuperados para a pesquisa, foram escolhidos para a análise os modelos de carros Híbridos e Elétricos comercializáveis mais populares nacionalmente no momento, estes são:

Híbridos:

- Toyota Prius Hybrid – Toyota
- Ford Fusion Hybrid – Ford

Elétricos:

- Nissan Leaf – Nissan
- BMW I3 – BMW

3.1 - Perfil de Consumidor de Carros 0Km

Para a compreensão de quais aspectos são relevantes no Brasil nesta Análise de Performance, será traçado antes o perfil nacional de consumidor de carros zero quilometro, apropriando-se de dados estatísticos de venda de automóveis desde o início do ano de 2017 até o mês de setembro.

Segundo a Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE), de janeiro à setembro de 2017, os carros auto e comerciais leves mais vendidos no Brasil podem ser visualizados na Tabela 3:

Tabela 3 - Veículos 0Km mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.

Nome do veículo	Número de vendas
Chevrolet Onix	134218
Hyundai HB20	79366
Ford Ka (hatch)	68256
Renault Sandero	55561
Volkswagen Gol	55295
Chevrolet Prisma	51037
Toyota Corolla	48152
Fiat Mobi	38898
Fiat Toro	38425
Fiat Strada	37280

Fonte: Tabela confeccionada pelo autor segundo os dados da FENABRAVE.

Destes dez carros foram recuperados os principais dados dos aspectos levados em conta nesta pesquisa e antes de usa-los na comparação direta com os VH's e VE's escolhidos, o perfil de consumidor será traçado dissecando um a um destes dados.

3.1.1 - Performance Motor

Três importantes quesitos são levados em conta para averiguar a qualidade dos motores dos carros mais procurados pelo consumidor no Brasil, todas estas informações foram levantadas nos sites nacionais das Montadoras:

- Torque Motor (Kgfm)

O torque motor levado em conta é o máximo torque estabelecido pelo motor à combustão quando o conta-giros do automóvel estiver em máxima rotação. Os dados de cada modelo foram agrupados na Tabela 4:

Tabela 4 - Torque motor(Kgfm) dos carros mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.

Nome do veículo	Torque motor (Kgfm)
Chevrolet Onix	13,9
Hyundai HB20	16,5
Ford Ka (hatch)	10,7
Renault Sandero	10,5
Volkswagen Gol	10,4
Chevrolet Prisma	13,9
Toyota Corolla	18,6
Fiat Mobi	9,9
Fiat Toro	19,27
Fiat Strada	12,5

Fonte: Confeccionado pelo autor segundo os dados das Montadoras.

Com um valor médio de 13,6 Kgfm, percebe-se que os dez veículos mais populares do mercado em sua grande maioria possuem um torque não muito elevado, comum de motores 1.0, 1.2 e 1.4, os modelos de menor potência, as duas exceções à regra são o Toyota Corolla, carro que apresenta um motor 1.6 e o Fiat Toro que é um Comercial Leve 1.8.

- Desempenho na Cidade (Km/L)

O desempenho basicamente é a quantidade de quilômetros a serem rodados a cada litro de combustível consumido pelo motor. Para este caso, todos os veículos da lista são Flex Fuel (podem ser abastecidos tanto com Gasolina, quanto com Etanol), resultando em quatro tipos de desempenho (Desempenho à Gasolina na Cidade, Etanol na Cidade, Gasolina na Estrada e Etanol na Estrada). O Desempenho à Gasolina na Cidade é a escolha ideal para a análise de dados pois a mobilidade urbana é muito maior em municípios e a gasolina ocasiona uma performance motora superior ao Etanol. Os dados de cada modelo foram agrupados na Tabela 5:

Tabela 5 - Desempenho na cidade(Km/L) dos carros mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.

Nome do veículo	Desempenho Cidade (Km/l)	Comparação Relativa na Categoria	Comparação Absoluta Geral	Selo CONPET de Eficiência Energética
Chevrolet Onix	12,9	A	A	SIM
Hyundai HB20	12,5	A	A	SIM
Ford Ka (hatch)	13,2	A	A	SIM
Renault Sandero	14,2	A	A	SIM
Volkswagen Gol	13,1	A	B	SIM
Chevrolet Prisma	12,9	A	A	SIM
Toyota Corolla	11,4	A	B	SIM
Fiat Mobi	13,7	A	A	SIM
Fiat Toro	8,3	A	D	-
Fiat Strada	10,9	A	B	SIM

Fonte: Confeccionado pelo autor segundo os dados do Inmetro.

Com um valor médio de 12,3 Km/L, a maioria dos carros da lista apresentam um bom desempenho, sendo econômicos no seu consumo de combustível na cidade, um comportamento típico dos veículos com motor 1.0, 1.2 e 1.4.

O Inmetro, responsável por etiquetar os automóveis ao bel-prazer das montadoras com a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), possibilita ao consumidor a visualização do desempenho dos motores, auxiliando na escolha.

As características da etiqueta podem ser vistas na Figura 22:

Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE

Classificação quanto ao consumo energético	Relativa à Categoria	Absoluta Geral
Menor consumo energético ▶	A	A
	B	B
	C	C
	D	D
▶ Maior consumo energético	E	E

Valores em km/l medidos em condições padrão de laboratório (NBR7024) e ajustados para simular condições mais comuns de utilização. O consumo percebido pelo motorista poderá variar para mais ou para menos, dependendo das condições de uso. Para saber por que, consulte: www.inmetro.gov.br e www.conpet.gov.br




Figura 22 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE.

Fonte: Inmetro.

Como pode ser observado, 9 dos 10 carros da lista dos mais populares são etiquetados com um "A" ou "B" na Comparação Absoluta Geral de consumo de energia, além de receberem o selo CONPET (Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural) de Eficiência Energética, que premia os modelos que apresentam pelo menos um "A" em uma das duas comparações (Comparação Relativa na Categoria e Comparação Absoluta Geral) e no mínimo um "B" nas categorias.

A grande exceção da lista é o Fiat Toro, que mesmo recebendo um "D" em sua comparação absoluta geral com os carros da lista, apresenta um "A" na comparação com os outros Comerciais Leves, sendo assim, é uma boa escolha na categoria. (INMETRO, 2017).

- Autonomia na Estrada (Km)

Embora nem todos os condutores brasileiros percorram grandes distâncias, a autonomia na estrada também é um fator importante para explicitarmos a performance do motor. A autonomia é a resultante do desempenho veicular na estrada multiplicado pela capacidade de tanque do automóvel. Mais uma vez a gasolina será o combustível escolhido para a

análise pois ocasiona um desempenho melhor do que o Etanol no carro. Os dados de cada modelo foram agrupados na Tabela 6:

Tabela 6 - Autonomia na Estrada(Km) dos carros mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.

Nome do veículo	Autonomia Estrada (Km)
Chevrolet Onix	826
Hyundai HB20	705
Ford Ka (hatch)	816
Renault Sandero	705
Volkswagen Gol	819
Chevrolet Prisma	832
Toyota Corolla	792
Fiat Mobi	756
Fiat Toro	630
Fiat Strada	792

Fonte: Confeccionado pelo autor segundo os dados das Montadoras.

Com um valor médio aproximado de 767 Km, estes carros apresentam uma boa distância a ser percorrida com um Tanque de Combustível cheio, justamente por serem modelos com motores econômicos e um bom desempenho no geral.

A conclusão chegada quanto à Performance Motor é a busca do consumidor por modelos de carro que consomem pouco combustível, comportamento justificado pela instabilidade do preço da gasolina e etanol no país. Desta forma, automóveis com motores menos potentes (1.0, 1.2 e 1.4) tornam-se as escolhas mais populares na hora de adquirir um veículo, deixando de lado aspectos como torque motor e potência.

3.1.2 - Performance Ecológica

Tema muito importante desta pesquisa, deve ser levado em conta quão poluentes são os carros zero quilômetro mais populares entre os brasileiros em 2017, com o objetivo de verificar se há alguma consciência ecológica pesando na escolha dos mesmos.

Os níveis de emissão gases poluentes (NMHC, CO e NO_x, todos em g/Km) e de gases de efeito estufa(gCO₂/Km) de todos os veículos no Brasil é fiscalizado pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) e o Inmetro é responsável por etiqueta-los quanto à Redução Relativa ao Limite (gases poluentes) e a medição do IBAMA de gCO₂/Km, possibilitando ao consumidor a visualização de sua performance ecológica. Há um limite de emissão de gases poluentes delimitados pelo órgão para cada categoria, conforme pode ser visto na Tabela 7 e na Tabela 8 a seguir:

Tabela 7 - Limite de emissão de gases poluentes em veículos autos.

POLUENTES	LIMITES
monóxido de carbono (CO em g/km)	1,3
hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	0,05
óxidos de nitrogênio (NO _x em g/km)	0,08
aldeídos (CHO g/km)	0,02

Fonte: Confeccionado pelo autor baseado nos dados do IBAMA.

Tabela 8 - Limite de emissão de gases poluentes em veículos comerciais leves de massa referencial menor que 1700Kg.

POLUENTES	LIMITES
monóxido de carbono (CO em g/km)	1,3
hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	0,05
óxidos de nitrogênio (NOx em g/km)	0,08
material particulado (MP em g/km)	0,03
aldeídos (CHO g/km)	0,02

Fonte: Confeccionado pelo autor baseado nos dados do IBAMA.

A maneira a qual o Inmetro etiqueta os carros quanto a Redução Relativa ao Limite e os níveis de emissão de CO₂ pode ser vista na Figura 23 a seguir:



Figura 23 - Redução Relativa ao Limite e Nível de emissão de CO₂.

Fonte: Inmetro.

Agrupando os dados de níveis de emissão de CO₂ dos dez carros mais populares no Brasil na Tabela 9, apresentamos os seguintes resultados:

Tabela 9 - Nível de emissão de GEE (gCO₂/Km) e Redução Relativa ao Limite dos carros mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.

Nome do veículo	Nível de Emissão de GEE (gCO ₂ /Km)	Redução Relativa ao Limite
Chevrolet Onix	95	B
Hyundai HB20	101	A
Ford Ka (hatch)	91	A
Renault Sandero	93	A
Volkswagen Gol	95	A
Chevrolet Prisma	95	A
Toyota Corolla	110	A
Fiat Mobi	89	A
Fiat Toro	149	A
Fiat Strada	113	A

Fonte: Inmetro.

Quanto à Redução Relativa ao Limite, os carros mais populares apresentam um excelente resultado dentro de suas categorias, estando bem abaixo dos limites de emissões impostos pelo IBAMA, com todos recebendo um "A", com exceção do Chevrolet Onix que recebeu um "B", porém também um valor satisfatório. (INMETRO, 2017).

Em relação aos níveis de Gases de Efeito Estufa (CO₂), com um nível médio de 103 gCO₂/Km, é um valor relativamente alto considerando a maioria destes carros populares com motores 1.0 a 1.4. Comparando-os a Tabela 10 abaixo que classifica automóveis "Amigos do meio ambiente" e "Despreocupados" em 2012, é possível uma melhor análise:

Tabela 10 - Veículos "Amigos do meio ambiente" e "Despreocupados" em 2012 por categoria de motor.

FLEX					
AMIGOS DO MEIO AMBIENTE					
2012 CATEGORIAS	marca	modelo	versão	motor	g CO2/km
1.0 A 1.4	FIAT	UNO	MILLE ECONOMY	1.0 8v	52,30
1.5 E 1.6	HONDA	FIT	EX (MEC)	1,5	63,56
1.8 E 1.9	TOYOTA	COROLLA	XLI - XEI - SEG - GLI (Al 1.8		74,28
2.0	NISSAN	SENTRA	2.0 FLEX (AUT)	mr20 (2.0 I)	74,88
2.1 A 3.0	GM	S10	ADVANTAGE S	N24KF 2.4L SOHC	94,18
ACIMA DE 3.0	MMC	L200 TRITON	FLEX	3,5L	127,36

FLEX					
DESPREOCUPADOS					
2012 CATEGORIAS	marca	modelo	versão	motor	g CO2/km
1.0 A 1.4	CHERY	S 18	1.3 FLEX	SQR473F (1,3l - 16V)	98,25
1.5 E 1.6	VW	PARATI	1.6 TITAN	1.6 (BWX)	96,15
1.8 E 1.9	FIAT	STRADA	TREKKINGFLEX	1.8 8v	91,97
2.0	MMC	PAJERO TR4	FLEX	2,0L	97,44
2.1 A 3.0	GM	S10	TORNADO D	N24KF 2.4L SOHC	101,42
ACIMA DE 3.0	MMC	PAJERO SPORT	FLEX	3,5L	127,36

Fonte: IBAMA e Personal CO2 Zero.

Todos os dez carros mais procurados pelos consumidores de 2017 possuem níveis de emissão de GEE muito próximos ou maiores que os "Despreocupados" de suas categorias, levando-nos a crer que ainda não há uma consciência ecológica dominante no consumidor brasileiro que os faça optar por uma condução mais amigável ao meio ambiente.

3.1.3 - Performance Econômica

Outro fator muito importante a ser levado em conta pelo consumidor brasileiro de veículos zero quilômetro é a Performance Econômica do carro escolhido. Os quesitos que mais interessam o condutor é o preço de mercado do carro e o quanto ele é capaz de economizar combustível, este último

esbarra na Performance Motor dos veículos. Conforme visto anteriormente, os carros mais procurados no Brasil geralmente possuem um bom Desempenho Motor e se tornam modelos mais econômicos nos grandes centros urbanos.

Quanto ao valor de mercado dos carros, foi retirado do website das Montadoras o valor inicial dos dez modelos mais populares, estes dados podem ser conferidos na Tabela 11 abaixo:

Tabela 11 - Preço inicial dos carros (em Reais) mais vendidos no Brasil de janeiro a setembro de 2017.

Nome do veículo	Preço do Veículo (R\$)
Chevrolet Onix	46390
Hyundai HB20	43000
Ford Ka (hatch)	41440
Renault Sandero	43350
Volkswagen Gol	34890
Chevrolet Prisma	55790
Toyota Corolla	69690
Fiat Mobi	34210
Fiat Toro	90990
Fiat Strada	47250

Fonte: Confeccionado pelo autor segundo os dados das Montadoras.

Com um preço inicial médio de R\$ 50.700, é perceptível a procura do consumidor por veículos com preços mais acessíveis, pois além de serem imediatamente mais em conta, possuem rotatividade maior, ou seja, um valor de revenda razoável. Além disso, carros populares tendem a serem menos custosos em possíveis revisões e manutenções do motor.

Depois de colocados em pauta as performances motora, ecológica e econômica dos dez veículos zero quilômetro mais procurados pelos brasileiros, é possível afirmar que o fator que mais pesa na escolha do carro a ser comprado pelo consumidor é o econômico, partindo do princípio que em média são automóveis de baixo custo inicial e pouco consumo de combustível nas cidades. Por outro lado, são modelos que apresentam baixo torque motor (são

em sua maioria veículos de motor 1.0 e 1.4), além de emitirem um nível considerável de gases de efeito estufa (em gCO₂/Km).

3.2 - Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos

Depois de traçado o perfil de consumidor brasileiro de veículos zero quilômetro, será dado início as Análises de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos, comparando-os aos dez carros mais vendidos de janeiro até setembro de 2017, que são todos modelos convencionais (Motores à Combustão Interna). A princípio neste capítulo, a comparação entre os VH's, VE's e VCI's será realizada de maneira bruta (apenas comparação das especificações), no próximo capítulo (Resultados definitivos) será levado em conta o que o consumidor tem em mente ao adquirir um veículo zero quilômetro, além de fatores externos quanto à aplicação de VH's e VE's na mobilidade urbana nacional.

3.2.1 - Análise de Performance Motor

Os quesitos para Análise de Performance Motor dos VH's e VE's serão os seguintes tópicos:

- Eficiência Energética
- Torque motor (Kgfm)
- Autonomia na Estrada (Km)
- Desempenho na Cidade (Km/L)

3.2.1.1 - Eficiência Energética

Com o objetivo de determinar qual motor desperdiça menos energia em seu processo de funcionamento, será analisado as informações dos principais motores de cada modelo:

- Motor à Combustão Interna (Veículos à Combustão Interna):

Como dito nos capítulos anteriores, este motor é uma Máquina Térmica, onde o início de seu processo depende da queima de um combustível para que com altas temperaturas a energia cinética possa ser gerada.

Quanto à sua eficiência, é baixa, pois muita energia se dissipa dentro da câmara de combustão, mais especificamente nas paredes. É bom lembrar também que nem toda a energia gerada pelo motor é destinada à transmissão, os acessórios elétricos e peças de fricção mecânicas também possuem a necessidade de serem energizadas para um bom funcionamento geral do automóvel. O que resta para a transmissão e suas engrenagens é um baixo valor, justificando sua Eficiência ruim. (LORENZO et al, 2009).

No exemplo da Figura 24 abaixo pode-se observar todo o ciclo de perdas de energia de um MCI, partindo do preceito que 72 Quilowatts de gasolina foram abastecidos no tanque:

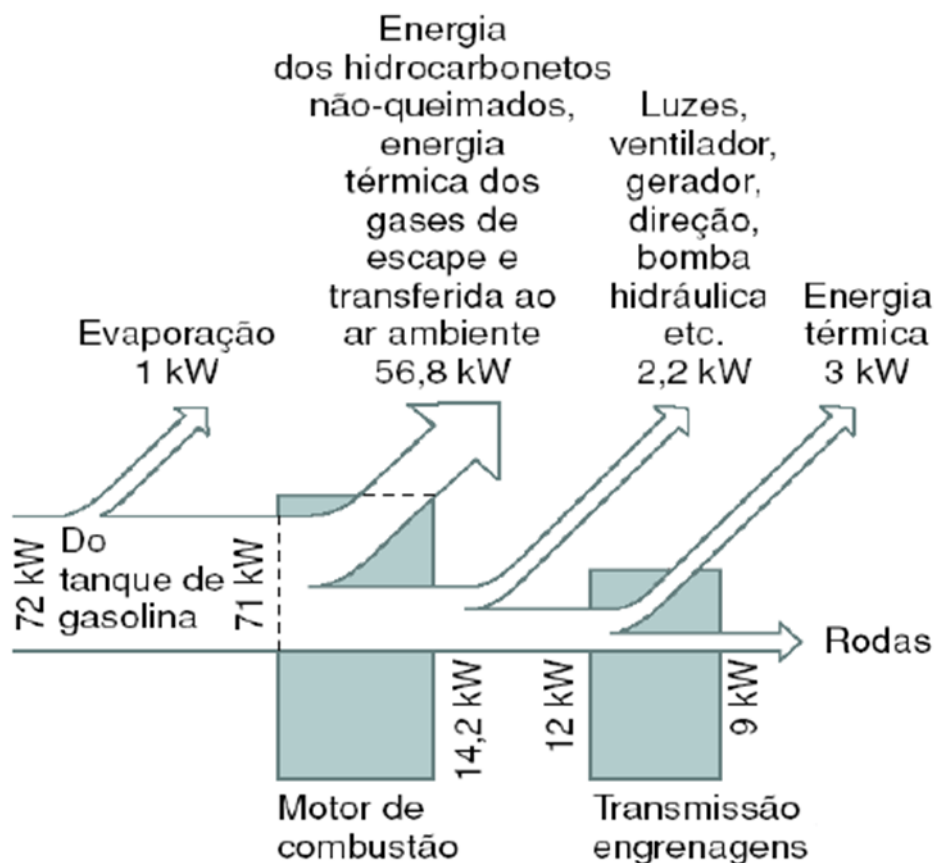


Figura 24 - Ciclo de perdas e geração de Energia em um Motor à Combustão.

Fonte: MARINHO 2016, pg. 40

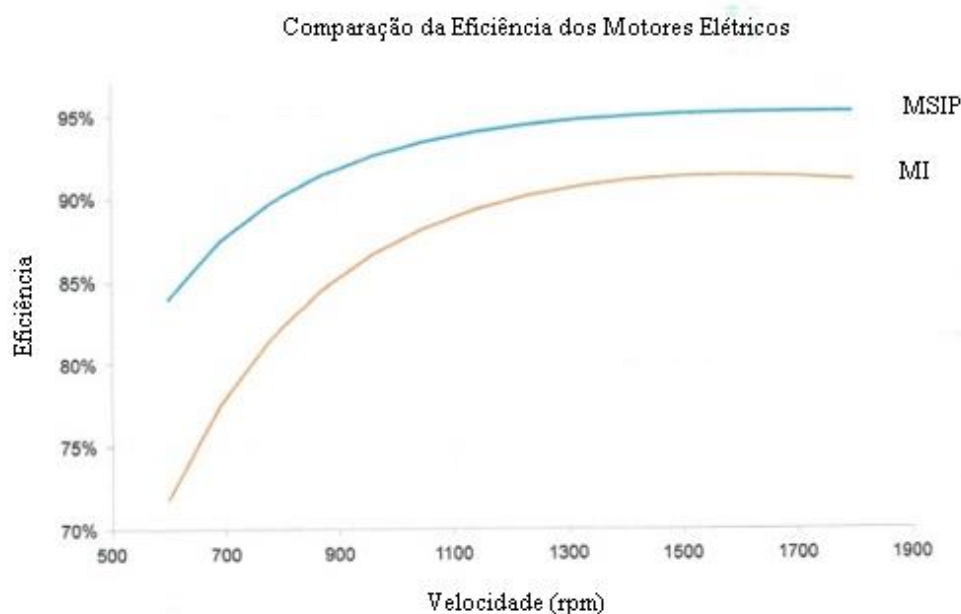
Dos 72 KW abastecidos de gasolina no Tanque neste exemplo, apenas 9KW foram destinados à movimentação do veículo (Transmissão e engrenagens), ocasionando uma baixa eficiência de 12,5%. (HUSAIN, 2003) (MARINHO, 2016) (LORENZO et al, 2009).

- Motores Elétricos (Veículos Híbridos e Elétricos)

Será destacado para comparação neste capítulo os Motores Síncronos de Ímã Permanente e o Motor de Indução, motores elétricos mais utilizados pelas montadoras e com maior potencial atual para aplicação nos sistemas de propulsão.

Ambos os motores apresentam altas eficiências que variam com sua velocidade rotacional, no Gráfico 7 abaixo pode-se observar esta relação partindo da velocidade de 600 a 1800 rpm: (ZERAOULIA et al, 2006)

Gráfico 7 - Comparação da Eficiência dos Motores Elétricos.

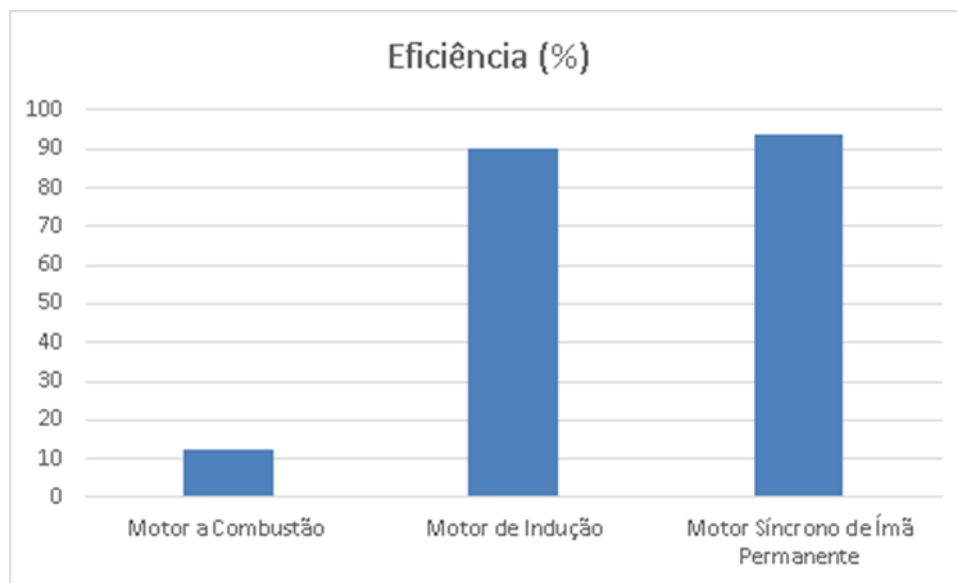


Fonte: Adaptado pelo autor a partir de <http://empoweringpumps.com>

O Motor Síncrono de Ímã permanente possui uma eficiência maior, na faixa de 83% a 94%, enquanto o Motor de Indução trabalha com eficiência na casa de 72% a 90%. Podemos observar que nos dois casos a eficiência é bem maior que a de um motor de Combustão Interna, inclusive por não existirem muitas perdas no processo, além dos VH's e VE's não possuírem peças de rotação mecânicas, desta forma, toda a energia é destinada única e exclusivamente para a Transmissão. (HUSAIN, 2003), (MARINHO, 2016).

A comparação das eficiências pode ser observada no Gráfico 8:

Gráfico 8 - Comparação das eficiências dos motores dos sistemas de propulsão.



Fonte: Confeccionado pelo autor.

3.2.1.2 - Torque Motor

Para a realização da análise comparativa dos Torques Motores, serão utilizados os seguintes dados, desta vez os veículos Híbridos e Elétricos terão seus dados apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Torque motor dos carros utilizados para Análise de Performance Motor no projeto.

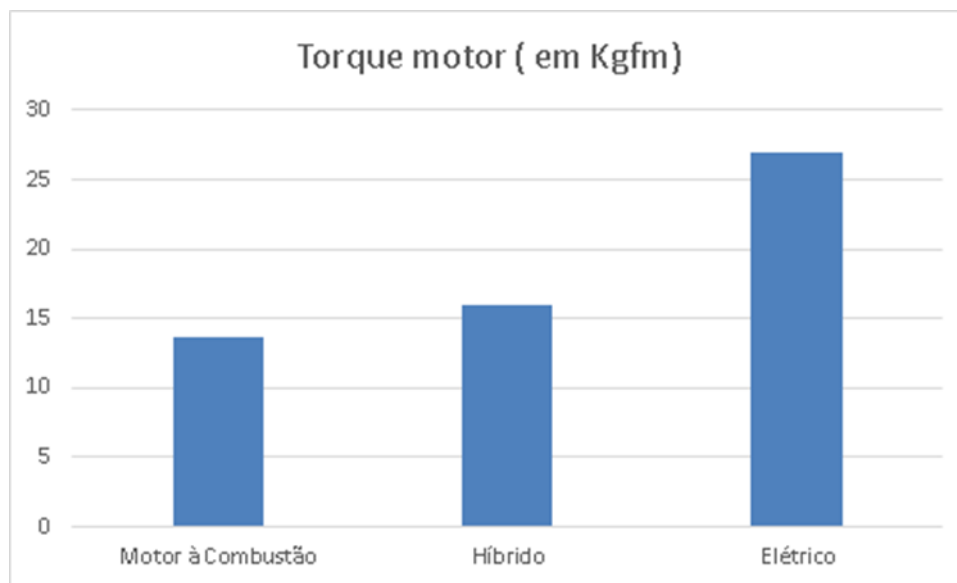
Nome do veículo	Torque motor (Kgfm)	Tipo de Combustível
Chevrolet Onix	13,9	Flex
Hyundai HB20	16,5	Flex
Ford Ka (hatch)	10,7	Flex
Renault Sandero	10,5	Flex
Volkswagen Gol	10,4	Flex
Chevrolet Prisma	13,9	Flex
Toyota Corolla	18,6	Flex
Fiat Mobi	9,9	Flex
Fiat Toro	19,27	Flex
Fiat Strada	12,5	Flex
Toyota Prius	14,2	Híbrido
Fusion Hybrid	17,84	Híbrido
BMW I3	25,5	Elétrico
Nissan Leaf	28,55	Elétrico

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir dos dados das Montadoras.

- Torque motor médio dos dez carros mais populares no Brasil (Todos com Motor à Combustão): 13,6 kgfm.
- Torque motor médio dos veículos Híbridos a partir da relação entre Toyota Prius Hybrid e Ford Fusion Hybrid: 16 kgfm.
- Torque motor médio dos veículos Elétricos a partir da relação entre BMW I3 e Nissan Leaf: 27 kgfm.

A comparação dos torques pode ser observada no Gráfico 9:

Gráfico 9 - Comparação do torque motor dos veículos selecionados para Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos.



Fonte: Confeccionado pelo autor a partir dos dados das Montadoras.

É evidente o melhor torque motor por parte dos sistemas de propulsão que utilizam os motores elétricos, inclusive nos VE's, aonde os mesmos atuam sozinhos na movimentação do carro. Isso se deve ao torque instantâneo proporcionado tanto pelo Motor de Indução, quanto pelo Motor Síncrono de Ímã permanente.

3.2.1.3 - Autonomia na Estrada

Para a realização da análise comparativa das Autonomias nas estradas, serão utilizados os seguintes dados, desta vez os veículos Híbridos e Elétricos terão seus dados apresentados na Tabela 13 a seguir.

Tabela 13 - Autonomia dos carros utilizados para Análise de Performance Motor no projeto.

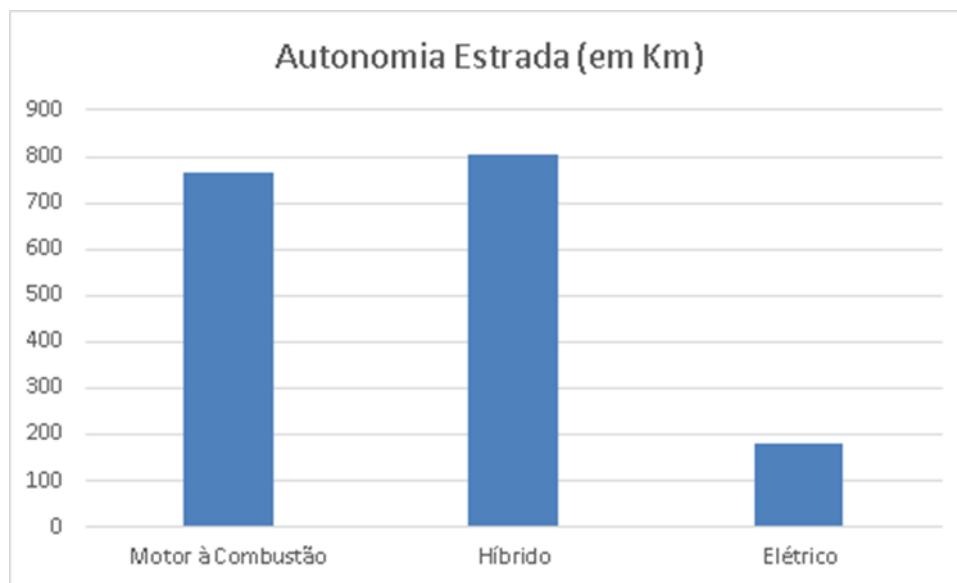
Nome do veículo	Autonomia Estrada (Km)	Tipo de Combustível
Chevrolet Onix	826	Flex
Hyundai HB20	705	Flex
Ford Ka (hatch)	816	Flex
Renault Sandero	705	Flex
Volkswagen Gol	819	Flex
Chevrolet Prisma	832	Flex
Toyota Corolla	792	Flex
Fiat Mobi	756	Flex
Fiat Toro	630	Flex
Fiat Strada	792	Flex
Toyota Prius	812	Híbrido
Fusion Hybrid	800	Híbrido
BMW I3	160	Elétrico
Nissan Leaf	200	Elétrico

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir dos dados das Montadoras.

- Autonomia média dos dez carros mais populares no Brasil (Todos com Motor à Combustão): 767,3 Km.
- Autonomia média dos veículos Híbridos a partir da relação entre Toyota Prius Hybrid e Ford Fusion Hybrid: 806 Km.
- Autonomia média dos veículos Elétricos a partir da relação entre BMW I3 e Nissan Leaf: 180 Km.

A comparação das autonomias pode ser observada no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Comparação da Autonomia na Estrada dos veículos selecionados para Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos.



Fonte: Confeccionado pelo autor a partir dos dados das Montadoras.

É perceptível a dificuldade de veículos puro Elétricos obterem uma boa autonomia nas estradas, enquanto os modelos híbridos se destacam com boas autonomies, valores similares aos de carros à combustão interna.

A problemática da má autonomia do Carro Elétrico é resumida na rápida descarga da bateria em altas velocidades. Nas estradas, o condutor comanda o motor pelo pedal de aceleração em maiores velocidades, solicitando um torque mais elevado. Conforme dito anteriormente, o torque de um motor elétrico é instantâneo, porém, quanto maior, mais energia descarregada pela bateria se torna necessária. Além disso, nas estradas com pouco congestionamento, é quase impossível se realizar o Regenerative Braking, não havendo então recargas da bateria.

3.2.1.4 - Desempenho na Cidade

Para a realização da análise comparativa do Desempenho na cidade, serão utilizados os seguintes dados, desta vez os veículos Híbridos e Elétricos terão seus dados apresentados na Tabela 14 abaixo.

Tabela 14 - Desempenho dos carros utilizados para Análise de Performance Motor no projeto.

Nome do veículo	Desempenho Cidade (Km/l)	Tipo de Combustível
Chevrolet Onix	12,9	Flex
Hyundai HB20	12,5	Flex
Ford Ka (hatch)	13,2	Flex
Renault Sandero	14,2	Flex
Volkswagen Gol	13,1	Flex
Chevrolet Prisma	12,9	Flex
Toyota Corolla	11,4	Flex
Fiat Mobi	13,7	Flex
Fiat Toro	8,3	Flex
Fiat Strada	10,9	Flex
Toyota Prius	18,9	Híbrido
Fusion Hybrid	16,8	Híbrido
BMW I3	43,2	Elétrico
Nissan Leaf	51,5	Elétrico

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir dos dados das Montadoras.

Vale ressaltar que os VE's possuem seu Desempenho obviamente medidos em Km/KWh, porém para métodos de análise tiveram seus dados convertidos para Km/L:

- Considerando que 1gal (galão) = 3,8741178 L
- 1 gal = 33,7 KWh

Foi possível estimar um Tanque de Combustível para os modelos elétricos utilizados na análise, explicitados na Tabela 15.

Tabela 15 - Tanque de Combustível estimado para comparação nos VE's.

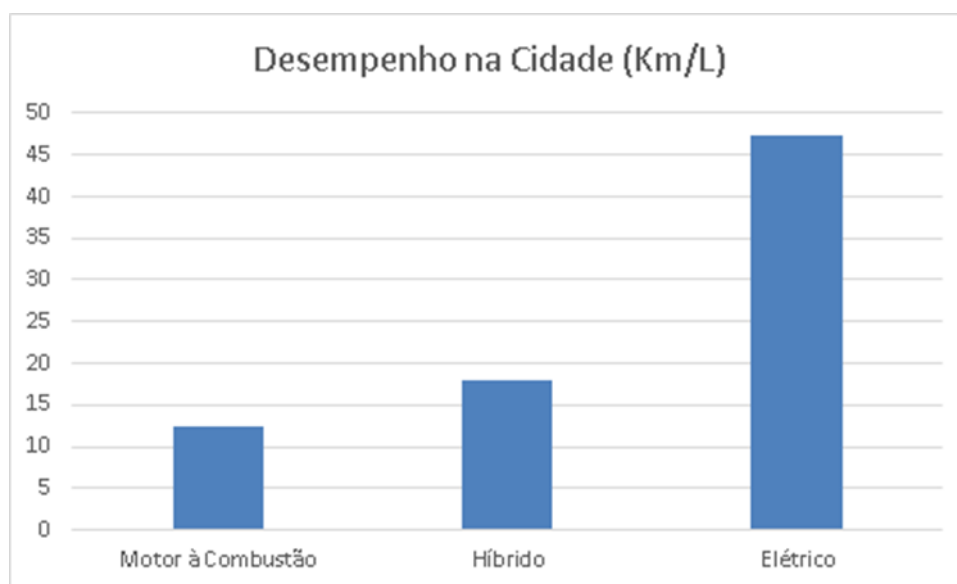
Nome do veículo	Carga da Bateria (KWh)	Tanque Estimado (L)
BMW I3	33	3,7
Nissan Leaf	30	3,5

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir dos dados das Montadoras.

- Desempenho médio dos dez carros mais populares no Brasil (Todos com Motor à Combustão): 12,3 Km/L.
- Desempenho médio dos veículos Híbridos a partir da relação entre Toyota Prius Hybrid e Ford Fusion Hybrid: 17,6 Km/L.
- Desempenho médio dos veículos Elétricos a partir da relação entre BMW I3 e Nissan Leaf: 47,4 Km/L.

A comparação dos desempenhos na cidade pode ser observada no Gráfico 11:

Gráfico 11 - Comparação do Desempenho na Cidade dos veículos selecionados para Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos.



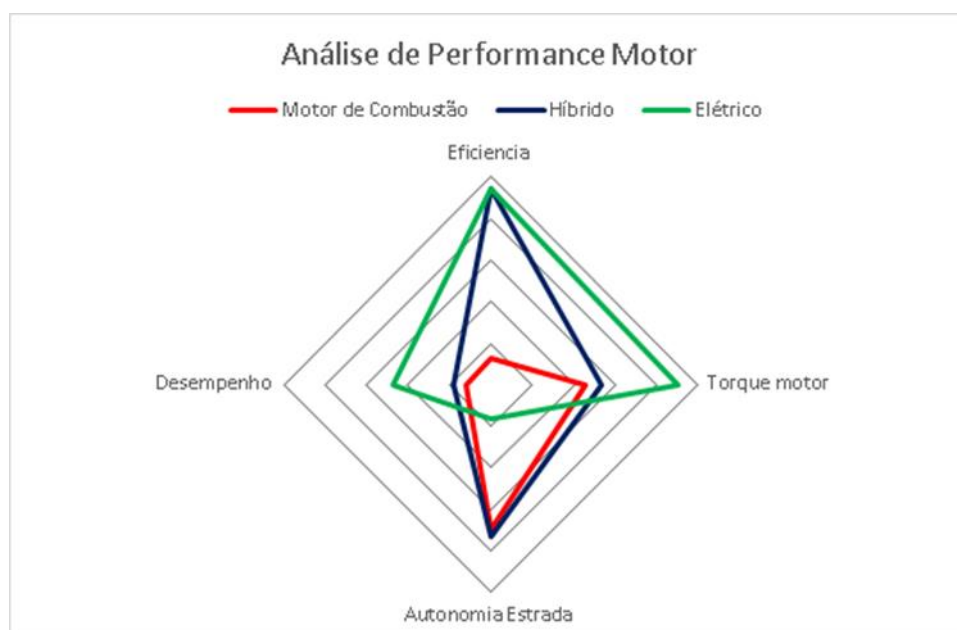
Fonte: Confeccionado pelo autor a partir dos dados das Montadoras.

O Desempenho dos VE's é disparado o melhor quando comparado aos VH's e aos VCI's, porém, sua capacidade de energia da bateria (em KWh) ainda não é elevada e faz com que sua autonomia (conforme visto no tópico acima) seja baixa (embora nas cidades seja um pouco maior devido o Regenerative Braking e às menores velocidades aplicadas).

Os VH's também se destacam por uma excelente economia de combustível, pois nas cidades é capaz de acionar poucas vezes seu motor a combustão, além de se utilizar do Regenerative Braking. Além disso, possui o melhor equilíbrio na relação Desempenho x Autonomia.

O balanço geral da Análise de Performance Motor de Veículos Híbridos e Elétricos então, expressa em gráfico radar, pegando como referência as maiores especificações de Torque motor, Desempenho, Eficiência e Autonomia em 2017 pode ser vista no Gráfico 12:

Gráfico 12 - Análise de Performance Motor de Veículos Híbridos e Elétricos.



Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados das Montadoras.

A conclusão obtida dos dados analisados é que o Veículo Elétrico possui as melhores características de torque motor, eficiência e desempenho,

porém ainda deixa a desejar em sua autonomia, sendo assim, não possui um resultado satisfatório quando submetido a grandes distâncias percorridas. Os Veículos Híbridos aparecem de forma mais lúcida no mercado, sendo superior ao Veículo de Combustão Interna em todos os quesitos motores.

3.2.2 - Análise de Performance Ecológica

Para realizar a análise de performance ecológica dos sistemas de propulsão será levado em conta o nível de emissão de gases de efeito estufa (em gCO₂/Km) dos automóveis utilizados para comparação, além de outros gases poluentes como NMHC, CO e NO_x (em g/Km).

Realizando a análise comparativa dos níveis de poluição dos carros, serão utilizados os seguintes dados, os quais desta vez os veículos Híbridos e Elétricos terão seus dados apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Níveis de Poluição dos carros utilizados para Análise de Performance Ecológica no projeto.

Nome do veículo	Nível de Emissão de GEE (gCO ₂ /Km)	NMHC (g/Km)	CO (g/Km)	NO _x (g/Km)	Tipo de Combustível
Chevrolet Onix	95	0,031	0,482	0,008	Flex
Hyundai HB20	101	0,014	0,309	0,011	Flex
Ford Ka (hatch)	91	0,019	0,462	0,013	Flex
Renault Sandero	93	0,021	0,163	0,045	Flex
Volkswagen Gol	95	0,022	0,289	0,026	Flex
Chevrolet Prisma	95	0,027	0,501	0,018	Flex
Toyota Corolla	110	0,021	0,73	0,04	Flex
Fiat Mobi	89	0,01	0,32	0,017	Flex
Fiat Toro	149	0,028	0,458	0,029	Flex
Fiat Strada	113	0,01	0,536	0,029	Flex
Toyota Prius	71	0,006	0,038	0,006	Híbrido
Fusion Hybrid	81	0,007	0,2	0,007	Híbrido
BMW I3	0	0	0	0	Elétrico
Nissan Leaf	0	0	0	0	Elétrico

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir dos dados do IBAMA e INMETRO.

Quanto aos níveis de emissão de gases de efeito estufa:

- Nível médio de emissão de gases de efeito estufa dos dez carros mais populares no Brasil (Todos com Motor à Combustão): 103,1 gCO₂/Km.
- Nível médio de emissão de gases de efeito estufa dos veículos Híbridos a partir da relação entre Toyota Prius Hybrid e Ford Fusion Hybrid: 76 gCO₂/Km.

Quanto aos níveis de emissão de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC):

- Nível médio de emissão de NMHC dos dez carros mais populares no Brasil (Todos com Motor à Combustão): 0,0203 g/Km.
- Nível médio de NMHC dos veículos Híbridos a partir da relação entre Toyota Prius Hybrid e Ford Fusion Hybrid: 0,0065 g/Km.

Quanto aos níveis de emissão de Monóxido de Carbono (CO):

- Nível médio de emissão de CO dos dez carros mais populares no Brasil (Todos com Motor à Combustão): 0,425 g/Km.
- Nível médio de CO dos veículos Híbridos a partir da relação entre Toyota Prius Hybrid e Ford Fusion Hybrid: 0,119 g/Km.

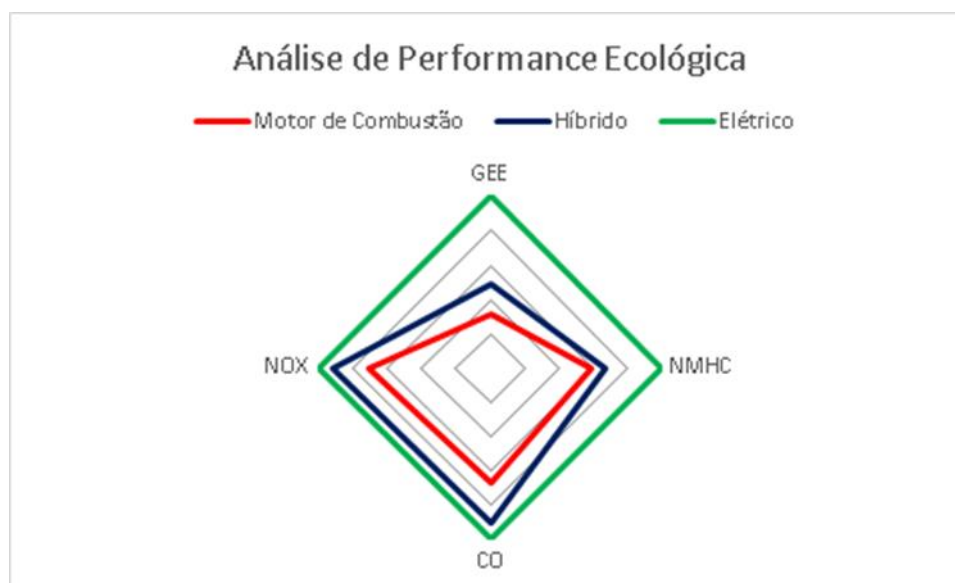
Quanto aos níveis de emissão de Óxidos de Nitrogênio (NO_x):

- Nível médio de emissão de NO_x dos dez carros mais populares no Brasil (Todos com Motor à Combustão): 0,0236 g/Km.
- Nível médio de NO_x dos veículos Híbridos a partir da relação entre Toyota Prius Hybrid e Ford Fusion Hybrid: 0,0065 g/Km.

Uma observação importante é que todo Veículo Elétrico é "Zero Emission", ou seja, não emite nenhum tipo de gás poluente. Isso ocorre pois em seu processo de geração de energia (bateria ou célula de combustível e motor elétrico) não há a utilização de combustíveis fósseis ou elementos químicos que são soltados e possam agredir o meio ambiente.

O balanço geral da Análise de Performance Ecológica de Veículos Híbridos e Elétricos então, expressa em gráfico radar, pegando como referência os limites de níveis de poluição impostos pelo IBAMA no Brasil, pode ser visto no Gráfico 13:

Gráfico 13 - Análise de Performance Ecológica de Veículos Híbridos e Elétricos.



Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados do Inmetro e IBAMA.

Pode-se concluir que o Veículo Elétrico possui a performance ecológica ideal, partindo do princípio que o mesmo é um automóvel "Zero Emission". Quanto aos Veículos Híbridos, o mesmo é menos poluente que os modelos convencionais na emissão de todos os tipos de gases, isso ocorre, pois, seu motor a combustão é possui especificações reduzidas e é acionado bem menos vezes devido à sua forma de funcionamento.

Também para métodos estatísticos de análise, foi realizado uma Regressão Linear Múltipla para averiguar o nível de emissão de GEE de cada carro analisado versus o nível de emissão esperado quando analisados seu Torque Motor e seu Desempenho na Cidade.

O modelo de regressão linear é também utilizado como aproximação de funções. Não se sabe a verdadeira relação entre Y , x_1 e x_2 , porém, em certas faixas das variações independentes, o modelo linear é uma aproximação adequada. (MONTGOMERY et al., 2012), (LARSON et al., 2008).

- Expressão Matemática

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

- Critério dos Mínimos Quadrados

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i$$

- O sistema em forma de matriz

$$\begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{i2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ik} \\ \sum_{i=1}^n x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 & \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{i2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{ik} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ik} & \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ik}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0^{\wedge} \\ \beta_1^{\wedge} \\ \vdots \\ \beta_k^{\wedge} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{i1}y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ik}y_i \end{pmatrix}$$

A seguir, na Tabela 17, é especificado novamente os dados obtidos de cada veículo para a análise de performance, os mesmos serão utilizados para a obtenção do gráfico de regressão, vale ressaltar mais uma vez que os Veículos Elétricos foram excluídos desta análise uma vez que não são poluentes.

Tabela 17 - Especificações de Nível de emissão de GEE, Desempenho na Cidade e Torque Motor para Regressão Linear Múltipla.

Nome do veículo	Nível de Emissão de GEE (gCO ₂ /Km)	Desempenho Cidade (Km/l)	Torque motor (Kgf _m)
Chevrolet Onix	95	12,9	13,9
Hyundai HB20	101	12,5	16,5
Ford Ka (hatch)	91	13,2	10,7
Renault Sandero	93	14,2	10,5
Volkswagen Gol	95	13,1	10,4
Chevrolet Prisma	95	12,9	13,9
Toyota Corolla	110	11,4	18,6
Fiat Mobi	89	13,7	9,9
Fiat Toro	149	8,3	19,27
Fiat Strada	113	10,9	12,5
Toyota Prius	71	18,9	14,2
Fusion Hybrid	81	16,8	17,84

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados obtidos no website das Montadoras, IBAMA e Inmetro.

A partir destes dados a seguinte equação será utilizada para correlacionar as variáveis:

$$y = a + bx_1 + bx_2 + c$$

Onde:

$y = \text{nível de emissão de GEE (gCO}_2\text{/Km)}$

$a, b \text{ e } c = \text{resultados obtidos na função de Regressão Linear Múltipla}$

$x_1 = \text{Desempenho na Cidade } \left(\frac{\text{Km}}{\text{L}}\right)$

$x_2 = \text{Torque motor (kgfm)}$

Plotando os dados obtidos pela ferramenta Microsoft Excel, a Regressão Linear múltipla foi então realizada.

- Regressão Linear Múltipla de Veículos de Motor a Combustão

O resultado dos dados plotados pode ser observado na Tabela 18 e Tabela 19:

Tabela 18 - Valor das variáveis “a”, “b” e “c” para Regressão Linear Múltipla de Veículos de Motor a Combustão.

a	b	c
117,966	-1,2108	0,00285

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados obtidos no website da Montadoras, Inmetro e IBAMA.

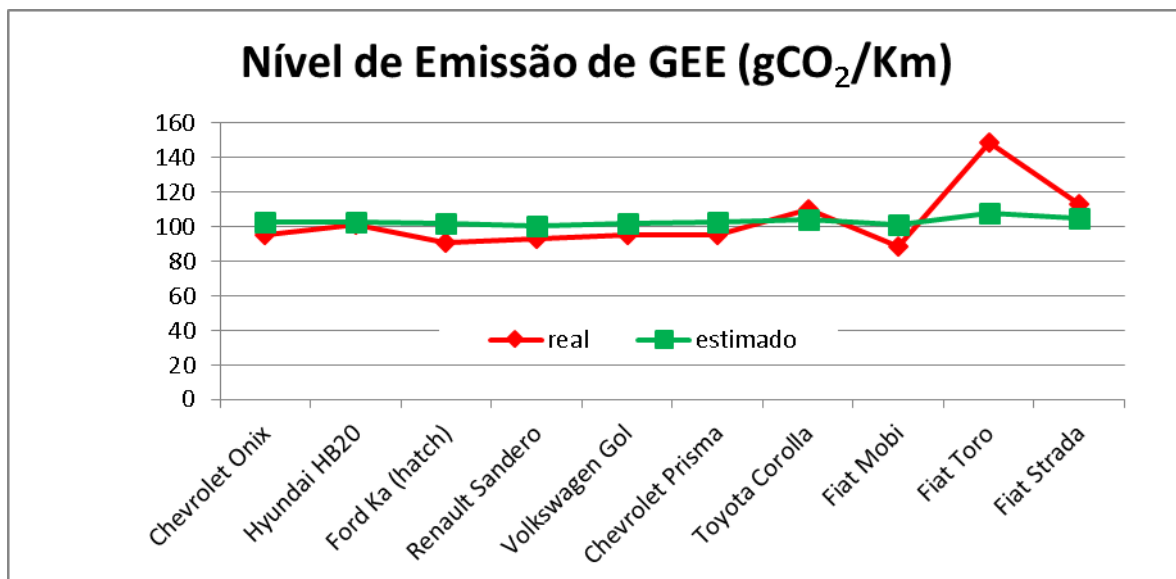
Tabela 19 - Resultado final da Regressão Linear Múltipla de Veículos de Motor a Combustão.

Nome do veículo	Nível de Emissão de GEE (gCO ₂ /Km)
Chevrolet Onix	102,3864438
Hyundai HB20	102,878177
Ford Ka (hatch)	102,0140771
Renault Sandero	100,8027204
Volkswagen Gol	102,1342997
Chevrolet Prisma	102,3864438
Toyota Corolla	104,2160337
Fiat Mobi	101,4064014
Fiat Toro	107,9713821
Fiat Strada	104,8040211

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados obtidos no website da Montadoras, Inmetro e IBAMA.

A partir dos cálculos realizados, foi possível obter o Gráfico 14:

Gráfico 14 - Valor real do Nível de emissão de GEE x Valor obtido pela Regressão Linear Múltipla.



Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados obtidos no website da Montadoras, Inmetro e IBAMA.

A conclusão obtida através do método estatístico é que praticamente todos os veículos observados na análise possuem nível de emissão de GEE próximo ou melhor que o estimado por suas especificações de Torque Motor e Desempenho na Cidade, com exceção o Fiat Toro, ou seja, em sua grande maioria os níveis de emissão destes veículos estão dentro do esperado de suas especificações motoras.

- Regressão Linear Múltipla de Veículos Híbridos

O resultado dos dados plotados pode ser observado na Tabela 20 e Tabela 21 abaixo:

Tabela 20 - Valor das variáveis “a”, “b” e “c” para Regressão Linear Múltipla de Veículos Híbridos.

a	b	c
31,8148	1,33519	1,27042

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados obtidos no website da Montadoras, Inmetro e IBAMA.

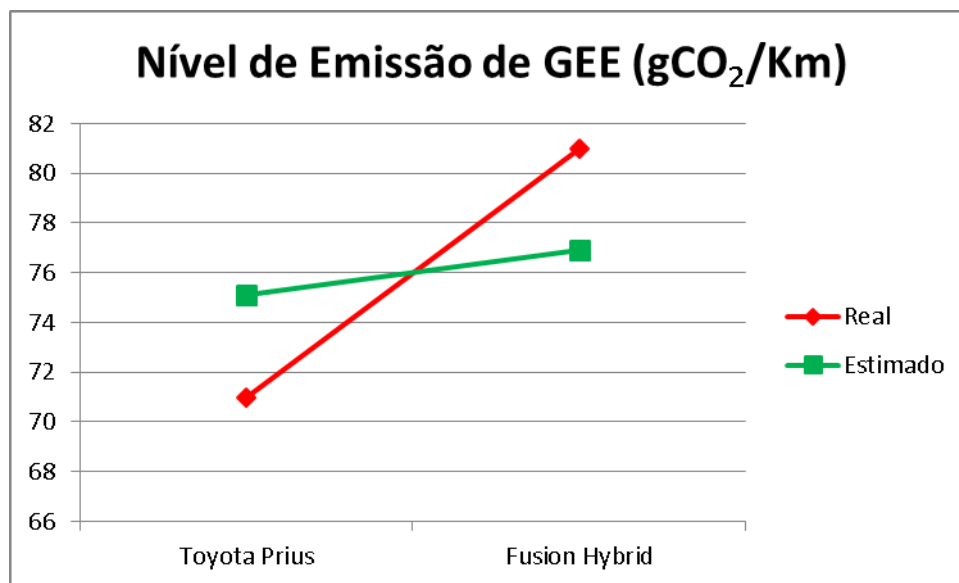
Tabela 21 - Resultado final da Regressão Linear Múltipla de Veículos Híbridos.

Nome do veículo	Nível de Emissão de GEE (gCO ₂ /Km)
Toyota Prius	75,08978161
Fusion Hybrid	76,91021839

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados obtidos no website da Montadoras, Inmetro e IBAMA.

A partir dos cálculos realizados, foi possível obter o Gráfico 15.

Gráfico 15 - Valor real do Nível de emissão de GEE de Veículos Híbridos x Valor obtido pela Regressão Linear Múltipla.



Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados obtidos no website da Montadoras, Inmetro e IBAMA.

A conclusão obtida através do método estatístico é que os VH's observados na análise possuem nível de emissão de GEE próximo do estimado por suas especificações de Torque Motor e Desempenho na Cidade, ou seja, os níveis de emissão destes veículos estão dentro do esperado de suas especificações motoras.

3.2.3 – Análise de Performance Econômica

Os quesitos para Análise de Performance Econômica dos VH's e VE's serão os seguintes tópicos:

- Valor de mercado.
- Custo para abastecimento do veículo.
- Custos de Manutenção.

3.2.3.1 – Valor de mercado

Para a realização da análise comparativa do Valor de Mercado dos automóveis utilizados na pesquisa, serão utilizados os seguintes dados, desta vez os veículos Híbridos e Elétricos terão seus dados apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Preço dos carros utilizados para Análise de Performance Motor no projeto.

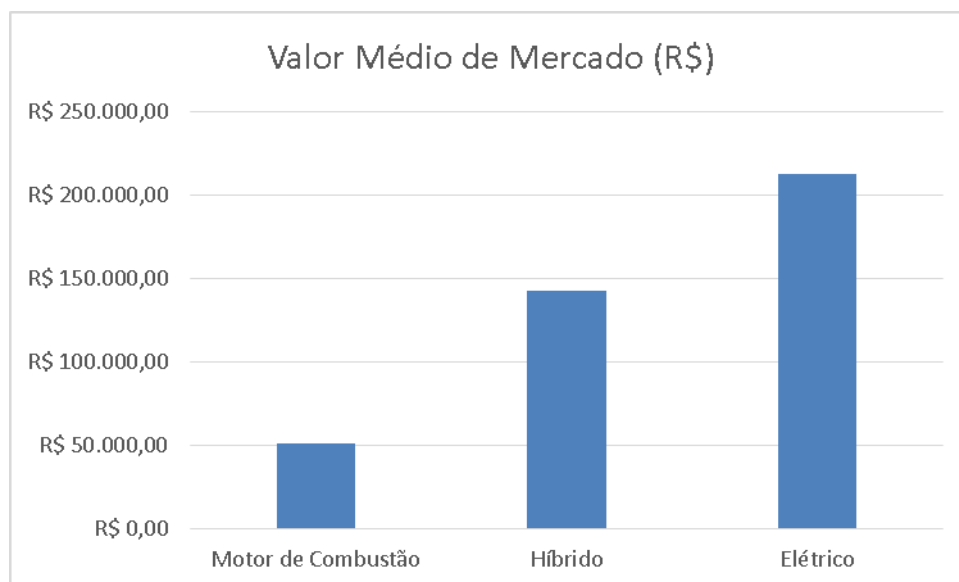
Nome do veículo	Preço do Veículo (R\$)	Tipo de Combustível
Chevrolet Onix	46390	Flex
Hyundai HB20	43000	Flex
Ford Ka (hatch)	41440	Flex
Renault Sandero	43350	Flex
Volkswagen Gol	34890	Flex
Chevrolet Prisma	55790	Flex
Toyota Corolla	69690	Flex
Fiat Mobi	34210	Flex
Fiat Toro	90990	Flex
Fiat Strada	47250	Flex
Toyota Prius	126000	Híbrido
Fusion Hybrid	160000	Híbrido
BMW I3	225950	Elétrico
Nissan Leaf	200000	Elétrico

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir dos dados das Montadoras.

- Valor médio de mercado dos dez carros mais populares no Brasil (Todos com Motor à Combustão): 50.700,00 R\$.
- Valor médio de mercado dos veículos Híbridos a partir da relação entre Toyota Prius Hybrid e Ford Fusion Hybrid: 143.000,00 R\$.
- Valor médio de mercado dos veículos Elétricos a partir da relação entre BMW I3 e Nissan Leaf: 212.975,00 R\$.

A comparação dos valores médios de mercado pode ser observada no Gráfico 16:

Gráfico 16 - Comparação do Valor Médio de Mercado dos veículos selecionados para Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos.



Fonte: Confeccionado pelo autor a partir dos dados das Montadoras.

O valor de mercado dos VE's é disparado o maior dentre os carros utilizados para a realização da pesquisa, isto pode ser justificado por serem veículos importados e com alto nível de tecnologia embarcada (tendo em vista que além de automóveis de luxo, são importados). Embora mais baratos que os VE's, os VH's também possuem um alto valor de mercado, pelos mesmos motivos. Na contramão dos dois sistemas de propulsão estudados neste trabalho, o preço médio de mercado dos dez veículos (todos com motor de combustão interna) mais procurados pelo consumidor brasileiro de veículos zero quilômetro é popular e mais acessível à população.

3.2.3.2 – Custo para abastecimento do veículo

Como visto nos capítulos anteriores onde foi traçado o perfil de consumidor brasileiro de veículos zero quilômetro, a procura por carros econômicos quanto ao consumo de combustível (Desempenho em Km/L) se torna evidente. O preço da gasolina e do etanol são custos impactantes na economia dos motoristas e desta forma o Custo para abastecimento dos veículos se torna um parâmetro importante a ser discutido na Análise de Performance Econômica.

Para que esta análise seja realizada, a captura de dados será regionalizada, no caso serão utilizados os valores de preço médio de combustível na cidade de São Paulo – SP (cidade com maior número de carros do Brasil), baseando-se nos dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP):

- Preço médio da Gasolina em São Paulo – SP no mês de Outubro: 3,63 R\$.
- Preço médio do Etanol em São Paulo – SP no mês de Outubro: 2,456 R\$.

Com o volume do tanque de combustível de cada veículo então é possível obter o preço para abastecê-lo completamente. Isto pode ser observado na Tabela 23:

Tabela 23 - Preço médio de abastecimento dos dez carros mais populares no Brasil de janeiro a setembro de 2017 (Em gasolina e etanol).

Nome do veículo	Volume do Tanque (Litros)	Preço médio para abastecimento do Tanque em Gasolina em São Paulo - SP (R\$)	Preço médio para abastecimento do Tanque em Etanol em São Paulo - SP (R\$)
Chevrolet Onix	54	196,02	132,624
Hyundai HB20	50	181,5	122,8
Ford Ka (hatch)	52	188,76	127,712
Renault Sandero	50	181,5	122,8
Volkswagen Gol	55	199,65	135,08
Chevrolet Prisma	54	196,02	132,624
Toyota Corolla	60	217,8	147,36
Fiat Mobi	47	170,61	115,432
Fiat Toro	60	217,8	147,36
Fiat Strada	58	210,54	142,448

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados das Montadoras e da ANP.

Foi concluído então que em 2017, o preço médio para abastecer os veículos mais populares em São Paulo – SP se encontra na faixa de 196 R\$ utilizando a Gasolina, enquanto abastecendo com Etanol é gasto em média 132 R\$.

Os dois Veículos Híbridos utilizados na análise (Toyota Prius Hybrid e Ford Fusion Hybrid) não possuem a opção de “Plug-In”, ou seja, não podem recarregar sua Bateria via tomada, desta forma a solução para ambos também é o abastecimento do tanque de combustível.

Na Tabela 24 abaixo é explicitado o preço médio também dos veículos híbridos:

Tabela 24 - Preço médio de abastecimento dos Veículos Híbridos utilizados na análise.

Nome do veículo	Tamanho do Tanque (Litros)	Preço médio para abastecimento do Tanque em Gasolina em São Paulo - SP (Reais)	Preço médio para abastecimento do Tanque em Etanol em São Paulo - SP (Reais)
Toyota Prius	43	3412738	2194591
Fusion Hybrid	51	4047666	2602887

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados das Montadores e da ANP.

O preço para abastecer completamente o tanque de combustível dos dois é bem similar ao preço encontrado nos modelos convencionais, 170 R\$

em média para abastecer completamente o carro com Gasolina e R\$ 115,00 em média quando o combustível utilizado é o Etanol.

Para os Veículos Elétricos a situação é diferente, os mesmos são abastecidos eletricamente carregando sua Bateria de Li-Ion. Ao adquirir o automóvel, o condutor recebe um carregador específico que ajusta a sua tensão residencial para realizar o carregamento. Também é possível abastecer o carro com cargas mais rápidas em Eletropostos distribuídos nas cidades (embora que existam poucos no Brasil).

Quanto ao carregamento residencial, em um estudo realizado pela Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), o custo de energia elétrica em São Paulo durante 2016 foi de R\$ 0,61/KWh, desta forma pode ser realizado o cálculo para os “abastecimento” dos veículos elétricos utilizados na análise (BMW I3 e Nissan Leaf), conforme na Tabela 25 abaixo.

Tabela 25 - Preço de carregamento dos Veículos Elétricos utilizados na análise.

Nome do veículo	Tipo de Bateria	Carga Bateria (Kwh)	Preço médio para recarga da Bateria em São Paulo - SP (Reais)
BMW I3	Li-Ion	33	17,6
Nissan Leaf	Li-Ion	30	22

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados das Montadores e da CPFL.

Fica evidente o baixo custo para recarregar a bateria do Veículo Elétrico.

Quanto ao carregamento nos eletropostos, no Brasil ainda é proibido a comercialização de energia elétrica por outras pessoas físicas ou jurídicas que não sejam as distribuidoras de Energia, sendo assim os eletropostos se tornam zero custo ao condutor de um carro elétrico.

Com a obtenção destes dados é possível calcular em média quanto é o preço para rodar 100 quilômetros na cidade de São Paulo com cada tipo de sistema de propulsão (considerando a gasolina o combustível utilizado).

Na Tabela 26 a seguir esta relação pode ser observada:

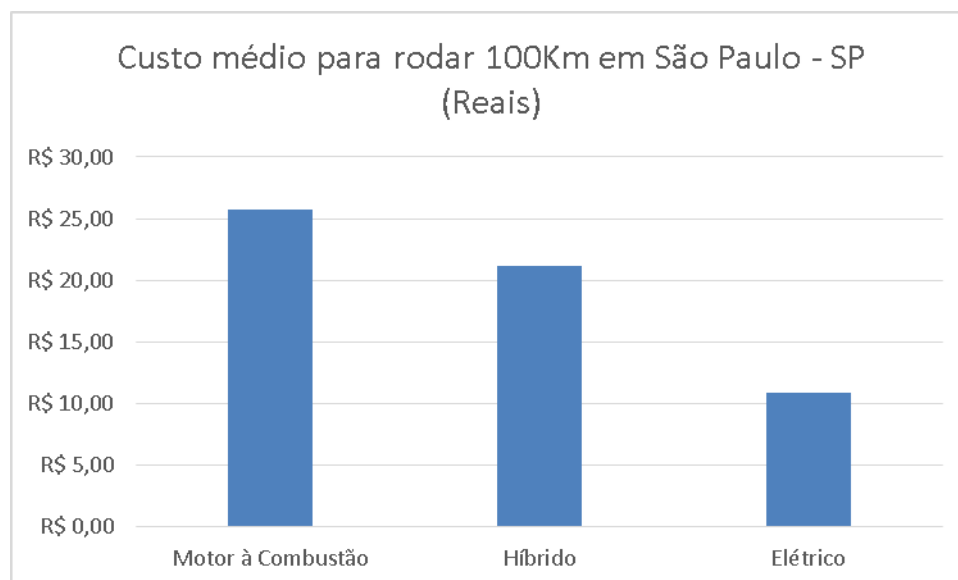
Tabela 26 - Preço médio para se rodar 100Km em São Paulo – SP nos veículos utilizados para a Análise de Performance de Veículos Híbridos e Elétricos.

Nome do veículo	Tipo de Combustível	Energia necessária para rodar 100Km (em L ou KWh)	Preço médio para rodar 100Km (Reais)
Chevrolet Onix	Flex	6,54 L	23,74
Hyundai HB20	Flex	7,09 L	25,74
Ford Ka (hatch)	Flex	6,37 L	23,12
Renault Sandero	Flex	7,09 L	25,74
Volkswagen Gol	Flex	6,72 L	24,4
Chevrolet Prisma	Flex	6,49 L	23,56
Toyota Corolla	Flex	7,58 L	27,52
Fiat Mobi	Flex	6,22 L	22,58
Fiat Toro	Flex	9,52 L	34,56
Fiat Strada	Flex	7,32 L	26,57
Toyota Prius	Híbrido	5,3 L	19,23
Fusion Hybrid	Híbrido	6,37 L	23,12
BMW i3	Elétrico	20,63 KWh	12,58
Nissan Leaf	Elétrico	15 KWh	9,15

Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados das Montadoras, CPFL e ANP.

A comparação dos valores médios de custo para rodar 100Km em São Paulo - SP pode ser observada no Gráfico 17:

Gráfico 17 - Custo médio para rodar 100Km em São Paulo – SP (em reais).



Fonte: Confeccionado pelo autor a partir de dados das Montadoras, CPFL e ANP.

Os VE's possuem um preço muito abaixo dos outros modelos quanto ao "abastecimento", tornando-se um veículo econômico a partir do momento que adquirido. Os VH's também são mais econômicos que os modelos convencionais, porém ainda possuem um preço relativamente alto para abastecimento. Porém, se forem considerados veículos Híbridos que possuem a opção de carregamento da bateria via Plug-In (por tomada), este custo pode abaixar relativamente, se equiparando aos Elétricos, além de apresentar duas opções de abastecimento ao seu condutor.

3.2.3.3 – Custos de Manutenção

Outro fator importantíssimo a ser analisado são os custos de manutenção existente nos veículos adquiridos.

Para os VCI's e VH's, a manutenção preventiva do motor é importante, pois, o motor a combustão apresenta inúmeras peças rotacionais mecânicas que são importantes para o bom funcionamento do mesmo e sem manutenção podem se degradar.

Na Tabela 27 a seguir, seguindo os dados do Sindicato da Indústria de Reparação de Veículos e Acessórios do Estado de São Paulo (Sindirepa – SP) pode ser observado os componentes que são necessários realizar a manutenção preventiva, quando realizar e o preço médio:

Tabela 27 - Manutenção preventiva de automóveis.

MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE AUTOMÓVEIS		
Componente	Quando trocar (média em km)	Custo (média)
Óleo	A cada 10 mil (uso normal)	R\$ 45 a R\$ 90
Filtro de Óleo	A cada troca de óleo do motor	R\$ 20 a R\$ 50
Velas	A cada 20 mil (uso normal) ou 15 mil (uso severo)	R\$ 30 a R\$ 100 o jogo
Filtro de Combustível	A cada 10 mil (uso normal) ou 8 mil (uso severo)	R\$ 20
Balanceamento e alinhamento	A cada 10 mil (uso normal) ou 5 mil (estradas esburacadas)	R\$ 70
Filtro de ar	A cada 15 mil (uso normal) ou 7.500 (uso severo)	R\$ 30 a R\$ 50

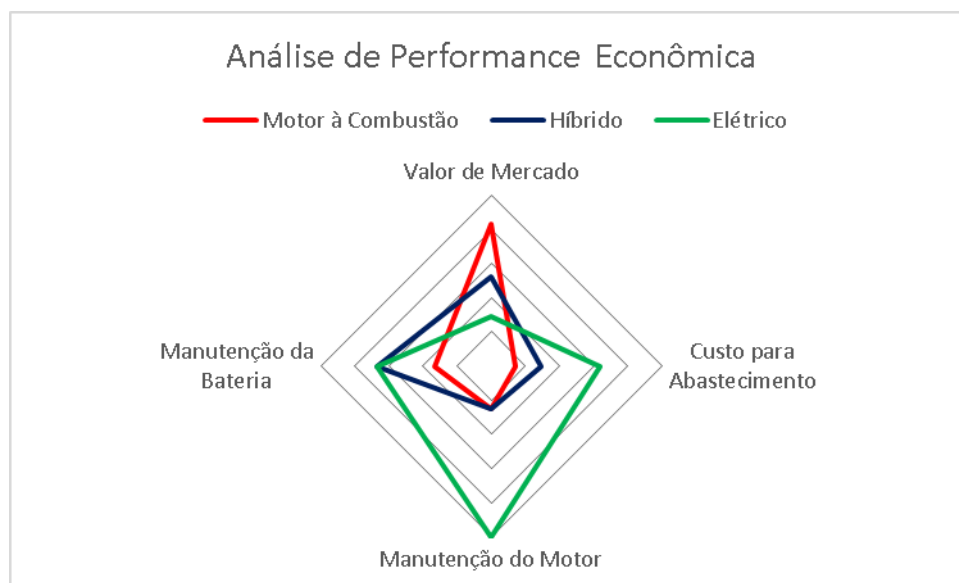
Fonte: Sindirepa – SP

Para os VE's, não há a necessidade de realizar manutenção preventiva das peças do motor, uma vez que o mesmo não possui peças rotacionais mecânicas, nem óleo. Também não há a presença do filtro de combustível e de ar.

Quanto as Baterias, os VE's e VH's se utilizam na maioria da bateria de Li-Ion (conforme já apresentado anteriormente) enquanto os VCI's usam em 100% dos casos a bateria de Chumbo Ácido. A diferença do tempo de operação das duas baterias é de 5 anos, ou seja, a Bateria de Li-Ion possui vida útil de 10 anos em condições ideais de direção, enquanto a de Chumbo Ácido, apenas 5 anos. Desta forma, um condutor de Veículos Híbridos e Elétricos deve se preocupar menos com uma troca de bateria do que um condutor de um modelo convencional de veículo.

O balanço geral da Análise de Performance Econômica de Veículos Híbridos e Elétricos então, expressa em gráfico radar, pode ser observado no Gráfico 18. (HUSAIN, 2003)

Gráfico 18 - Análise de Performance Econômica.



Fonte: Confeccionado pelo autor a partir dos dados das Montadoras, CPFL, ANP e Sindirepa.

A conclusão obtida é que embora muito menos custosos que os Veículos de Combustão Interna depois de adquiridos (baixa manutenção e baixo custo de abastecimento), os Veículos Híbridos e Elétricos ainda possuem um elevado valor de mercado, o que os torna menos acessíveis ao consumidor.

3.3 – Fatores Externos

Além da performance bruta dos veículos estudados, há alguns fatores externos importantes a serem considerados para concluir a análise de implantação dos mesmos na mobilidade urbana brasileira.

Podem ser considerados estes dois fatores:

- Infraestrutura
- Incentivos

3.3.1 – Infraestrutura

Os VH's e VE's funcionam de forma diferente dos modelos convencionais, principalmente na questão do seu carregamento ou abastecimento. Atualmente no Brasil existem poucos eletropostos para carregamento das baterias, o que torna a locomoção destes automóveis mais difícil, uma vez que em uma possível falta de carga o condutor pode ser prejudicado. Além disso, o tempo de carga em uma tomada residencial leva cerca de 6 a 8 horas, enquanto no eletropostos uma carga rápida de 80% da bateria é realizada em meia hora, na Figura 25 a seguir são apresentado os tipos de carregadores de bateria. (MARINHO, 2016), (CPFL, 2016).

Eletropostos (EP's)
(Públicos, Semi-Públicos e Privados)
2013-2018



Figura 25 - Tipos de Eletropostos.

Fonte: CPFL.

Além disso, é necessária uma preparação do Corpo de Bombeiros quanto ao novo tipo de automóvel a estar circulando nas ruas, uma vez que os VH's e VE's apresentam tensões de até 600V circulando em sua locomoção, desta forma se tornam mais propensos a acidentes com arcos voltaicos e caso não haja uma boa preparação para estes casos, os acidentes podem se tornar fatais.

3.3.2 – Incentivos

Para que o mercado de VE's e VH's seja fomentado no Brasil, algumas mudanças nas leis de incentivos e tributos na mobilidade urbana devem ser modificadas. No ano de 2017, o governo federal deu início a discussão a sua nova política industrial para o setor automotivo, intitulado-a de Rota 2030.

O Rota 2030 possui medidas interessantes aos fabricantes de carros híbridos e elétricos, uma vez que um dos focos da nova política é a valorização da eficiência energética. Segundo a ANFAVEA, a ideia a ser discutida é que os impostos dos automóveis em solo nacional não sejam mais cobrados pela cilindrada do motor e sim pelo número de consumo de combustível e os níveis de emissões dos mesmos (captados pelo INMETRO e IBAMA e etiquetado pelo INMETRO). Sendo assim, com a aplicação do Rota 2030, há uma garantia de impostos mais baratos aos novos sistemas de propulsão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segue abaixo os seguintes resultados obtidos:

- O consumidor brasileiro de veículos zero quilômetro procura no mercado veículos de baixo a médio custo (na faixa dos 50.700,00 R\$) que possuem em suas características principais um bom desempenho motor (Km rodados por L) e uma boa autonomia (Km).
- Realizada a Análise de Performance Motor dos veículos estudados nesta pesquisa, foi observado que os Veículos Elétricos são superiores aos outros modelos quanto à sua eficiência motor, seu torque e desempenho, porém, deixa a desejar na autonomia. Os Veículos Híbridos também possuem boas especificações, sendo também superior aos modelos convencionais. Os VH's por sua vez possuem a melhor Autonomia.
- Realizada a Análise de Performance Ecológica dos veículos estudados nesta pesquisa, foi observado que os Veículos Elétricos possuem a performance perfeita neste quesito, uma vez que não são poluentes. Os Veículos Híbridos possuem um grau de emissão (ainda se utilizam de um motor a combustão em seu sistema), porém são bem menos agressivos que os modelos convencionais.

- Realizada a Análise de Performance Econômica dos veículos estudados nesta pesquisa, foi observado que os Veículos Híbridos e Elétricos são relativamente caros para o consumidor brasileiro, tendo em vista que seu valor de mercado é elevado. Porém, a partir do momento em que adquiridos, são muito mais econômicos, levando em conta que o custo de abastecimento dos mesmos é menor, e a manutenção do motor (no Veículo Elétrico não existe) e da bateria são inferiores.

5. CONCLUSÕES

Depois de analisada a performance dos Veículos Híbridos e Elétricos com foco no mercado nacional, pode ser observado as inúmeras vantagens destes dois sistemas de propulsão sobre os modelos convencionais, os dois são superiores em performance motora e ecológica, além de serem muito mais modernos. Entretanto, na parte econômica o cenário nacional impossibilita uma implantação em larga escala desta tecnologia veicular nos dias atuais. Embora sejam mais econômicos uma vez que adquiridos, seu alto valor de mercado impedem que a maioria dos consumidores optem por eles. Além disso, a falta de infraestrutura ainda é um empecilho para o tráfego tranquilo destes carros, pois existem poucos Eletropostos distribuídos nas grandes cidades e não há nem ao menos um acordo para comercialização de energia elétrica a não ser pelas distribuidoras de energia.

Resta aos investidores desta tecnologia no Brasil aguardarem os incentivos do governo para diminuição dos impostos de veículos amigáveis ao meio ambiente e fomentarem a indústria brasileira, como proposto no Rota 2030. O futuro também parece promissor, com as montadoras investindo nestes novos sistemas e com a iminente queda de preço dos componentes principais para a construção dos Veículos Híbridos e Elétricos, há a expectativa que no futuro os mesmos possam ter preço de mercado competitivo com os Veículos de Motor a Combustão Interna.

6. REFERÊNCIAS

HUSAIN, Iqbal. **ELECTRIC and HYBRID VEHICLES Design Fundamentals**. CRC Press LLC, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431.

LIMA, Francisco Lorenzo Magalhães et al. **Motores a Combustão Interna**. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2009.

WENDT, Hartmut et al. **Tecnologia de Células a Combustível**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/CNEN-SP - Cidade Universitária - Rua R, 400 - 05422-970 - São Paulo – SP

MARINHO, Wanderlei. **Apostila Curso de Veículos Elétricos e Híbridos**. Society of Automotive Engineers Brasil – São Paulo-SP, 2016.

DELGADO, Fernanda et al. **Cadernos FGV Energia: Carros Elétricos**. Fundação Getúlio Vargas, Maio 2017, N° 7.

CHAPMAN, Stephen j. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. tradução: Anatólio Laschuk. – 5. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre : AMGH, 2013.

HODEL, Kleber Nogueira. **Limites do Protocolo CAN (Controller Área Network) Para Aplicações Que Exigem Alto Grau De Confiabilidade Temporal**. Universidade de São Paulo. – São Paulo – SP, 2009.

VILLULAS, H. Mercedes et al. **Células A Combustível: Energia Limpa A Partir de Fontes Renováveis**. Química na Escola. 2002.

AUVINEN, Heidi et al. Electromobility Scenarios: Research Findings To Inform Policy. 6th Transport Research Arena. 2016.

REGO, Eduardo Henrique Costa. Fornecimento De Energia Para Bateria Através De Supercapacitores A Partir de Diferentes Níveis De Carga. Departamento Acadêmico de Eletromecânica – UTFPR. Medianeira – PR, 2011.

MONTGOMERY, D. C. e Runger, G. C. - Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. Editora LTC - 2ª Edição, 2012

LARSON, R e Farber, B - Estatística Aplicada. Pearson Education - São Paulo- 2ª Edição, 2008.

ZERAOULIA, Mounir et al. Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study. IEEE, 2006.