

LEANDRO SUZUKI BARBOZA DOS SANTOS

**ESTUDO COMPORTAMENTAL DE *PLUG-IN HYBRID*
ELECTRIC VEHICLES (PHEV) EM DIFERENTES
MODOS DE OPERAÇÕES**

FICHA CATALOGRÁFICA

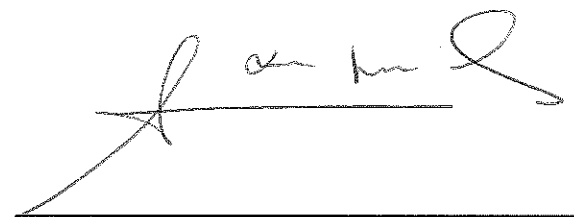
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S237e Santos, Leandro Suzuki Barboza dos.
Estudo comportamental de Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV)
em diferentes modos de operações / Leandro Suzuki Barboza dos
Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
44 f. : il.
Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira,
2022
Orientador: Alexandre Cesar Rodrigues da Silva
Inclui bibliografia
1. Plug-in Hybrid Electric Vehicle. 2. PHEV. 3. Diagnostic Engineering
Tool. 4. DET. 5. Carros elétricos. 6. Powertrain Control Module.


Raiane da Silva Santos

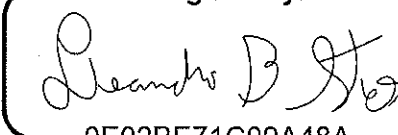
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos Dezenove dias do mês de Julho do ano de dois mil e vinte e dois, o discente **Leandro Suzuki Barboza dos Santos**, matriculada sob o nº 112054781, tendo como banca examinadora o seu orientador, o Prof. Dr. Alexandre Cesar Rodriguez da Silva, a Profa. Dra. Suely Cunha Amaro Mantovani e o Eng. Eletricista Marco Aurélio Nakamura Nagai - IOSI Energia, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "Estudo comportamental de plug-in hybrid electric vehicles (PHEV) em diferentes modos de operações", obtendo a nota 8,0 (Oito) e conceito **APROVADO**.



Prof. Dr. Alexandre Cesar Rodriguez da Silva

- Orientador -

DocuSigned by:

0E02BE71C09A48A

Leandro Suzuki Barboza dos Santos

- Discente -



Profª. Drª. Suely Cunha Amaro Mantovani

- Membro da Banca -

**MARCO AURELIO
NAKAMURA
NAGAI:**
29565686800

Digitally signed by MARCO AURELIO NAKAMURA
NAGAI:29565686800
DN: C=BR, O=ICP-Brasil, OU=000001010842311,
OU=Secretaria de Receita Federal do Brasil - RFB,
OU=RFB e-CPF A1, OU=AC SERASA RFB,
OU=14802289000152, OU=PRESENCIAL,
CN=MARCO AURELIO NAKAMURA NAGAI:
29565686800
Reason: I am the author of this document
Location: São Paulo - SP, 4 de maio de 2022.
Date: 2022.07.25 08:58:49-03'00'
Foxit PDF Editor Version: 11.2.0

Eng. Eletricista Marco Aurélio Nakamura Nagai -

IOSI Energia.

- Membro da Banca -

LEANDRO SUZUKI BARBOZA DOS SANTOS

**ESTUDO COMPORTAMENTAL DE *PLUG-IN HYBRID
ELECTRIC VEHICLES* (PHEV) EM DIFERENTES
MODOS DE OPERAÇÕES**

Trabalho de graduação apresentado
à Faculdade de Engenharia do
Câmpus de Ilha Solteira - UNESP
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro
Eletricista.

Prof. Dr. Alexandre Cesar Rodrigues
Da Silva
Orientador

Ilha Solteira - SP
2022

AGRADECIMENTOS

Dedico esta página para agradecer parte das pessoas que me ajudaram neste longo caminho durante a universidade. E quando digo longo, é bem longo mesmo. Provavelmente não me lembrarei de todos aqui, pois ao longo de 10 anos, se passa mais pessoas na sua vida do que se consegue colocar numa página e também porque minha memória é péssima. Portanto, segue abaixo um singelo agradecimento para algumas das pessoas que foram importantes para mim neste trajeto, e um lembrete para o eu mesmo do futuro, para nunca esquecer de ser grato para com meus pais, com uma ênfase especial a senhora Eliane Suzuki, a pessoa que me ensinou as coisas mais importantes para a vida. Às vezes me indago como esta pessoa conseguiu me apoiar por tanto tempo, sem nunca ter me pressionado, brigado ou duvidado de mim. E quando digo muito tempo, novamente, é muito tempo mesmo, quase 30 anos. No seu lugar, penso que eu já teria me deserdado, e isso é um sinal que ainda tenho muitas coisas a aprender com a senhora, como, por exemplo, a sua bondade, fé e paciência.

A instituição UNESP como um todo, a todos os funcionários que tornam possível chegar até a universidade, entrar em uma sala limpa e ter laboratórios eficientes. A todos professores, que compartilham seu vasto conhecimento da melhor forma possível, em especial o Prof. Dr. Alexandre Cesar Rodrigues da Silva, sem ele provavelmente eu já teria jubulado alguns anos atrás e este trabalho de graduação nunca aconteceria. Creio que nada incentive mais um aluno, do que ver a paixão nos olhos de um professor na hora de ensinar.

A república S'Ocio, que me acolheu do primeiro, ao último dia de universidade. Eu vi passar por esta república, mais pessoas do que consigo contar com os dedos, incluindo os dedos dos pés. Pessoas de lugares, hábitos e vivências diferentes. Agradeço pelo aprendizado e pelas risadas que cada um de vocês me proporcionou, e sei que vão continuar me proporcionando. Pois, estou ciente é só falar um “bora?”, que a galera toda que mora ou já morou nesta república, move montanhas se for preciso, para rever todo mundo junto.

Obrigado Nilce Bucatto e Jean Sartori pelos canelones, Sérgio Hélio por segurar a barra como poucos fariam, José Antonio Pereira por ajudar na minha ausência e por toda a ajuda durante minha mudança e ao meu tio e tia, Everson e Fabiana Goya por toda ajuda durante a vida.

Por fim, agradeço a todo time de calibração de motores da *Ford Motor Company LTDA*, ao Edmar Neves pela ajuda na coleta de dados, Suny Watanaba por ensinar e instrumentar o veículo, Odair Oliveira por todo conhecimento e ideias dadas durante o estágio, Ricardo Vaz pela oportunidade de trabalhar com este time, Manuel Ruivo por todo apoio e liberdade dada para meus estudos com o veículo, Marcelo Pinto por me ensinar muito, principalmente a respeito de transmissão de veículos e ao Airto Queiros Junior por me dar a oportunidade de acompanhar de perto os avanços do estudo a respeito deste veículo, me ensinando de uma excepcional.

RESUMO

Atualmente há uma mudança de pensamento em relação aos automóveis. Automóveis movidos parcial ou totalmente a energia elétrica estão gradativamente ganhando espaço no mercado e no gosto popular, pois são menos poluentes, mais silenciosos e apresentam um consumo de energia mais eficiente. Outro fator a ser considerado, são seus menores custos de abastecimento, manutenção e consertos quando comparados aos modelos movidos a combustão. Corroborando com o cenário apresentado, as indústrias automotivas, estão fazendo grandes aportes financeiros e tecnológicos em veículos movidos total ou parcialmente a energia elétrica. Neste contexto, surge a necessidade do estudo e a avaliação do comportamento de um *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) em seus diferentes modos de operação, em perímetros urbanos. Neste estudo foi possível concluir que um veículo híbrido cumpre com o que promete em cada um de seus modos de operação. A análise dos dados mostrou que o veículo sob estudo apresentou um consumo de 3,16 km/kWh. Tendo em vista que o preço dos kWh na CPFL Paulista, no ano de 2021, foi de R\$ 0,92 para tarifa residencial, conclui-se que o veículo consegue se mover em perímetros urbanos por um valor de 3,44 km/R\$.

Palavras-chave. Plug-in Hybrid Electric Vehicle. PHEV. Diagnostic Engineering Tool. DET. Carros elétricos. Powertrain Control Module.

ABSTRACT

Nowadays there is a shift in thinking about automobiles. Automobiles powered partially or completely by electric energy are gradually gaining space in the market and popular taste, they are less polluting, quieter and have a better efficient energy consumption. Another factor to be considered, is their lower prices for re-fuel, maintenance and repair costs, when compared to combustion-powered models. Corroborating with the scenario presented the automotive industries are making large financial and technological contributions on vehicles powered entirely or partially by electric energy. In this context, lays the necessity of the study and evaluation of the behavior that a Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) present in its different modes of operation, in urban perimeters. It can be concluded that a hybrid vehicle fulfills what it promises in each one of its operation modes. Data analysis showed that the vehicle under study had a consumption of 3,16 km/kWh. Considering that the prices of kWh at CPFL Paulista, in the year of 2021, was R\$ 0,92 for residential tariff, it is concluded that the vehicle can move in urban areas for a value of 3,44 km/R\$.

Palavras-chave. Plug-in Hybrid Electric Vehicle. PHEV. Diagnostic Engineering Tool. DET. Electric Vehicles. Powertrain Control Module.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de blocos dos componentes de um veículo elétrico.	13
Figura 2 – Arquitetura de um veículo elétrico.....	13
Figura 3 – Categorias de veículos elétricos.	14
Figura 4 – Arquiteturas de veículos elétricos.	17
Figura 6 – Arquitetura simplificada de veículos puramente elétricos.....	18
Figura 7 – Arquitetura paralela, modo híbrido.	18
Figura 8 – Arquitetura paralela, modo charge.....	19
Figura 9 – Arquitetura paralela, KERS.	19
Figura 10 – Arquitetura paralela, modo EV.....	20
Figura 11– Arquitetura em série, modo EV.	21
Figura 12 – Arquitetura em série, modo híbrido.....	21
Figura 13 – Arquitetura em série, KERS.....	22
Figura 14 – Arquitetura powersplit, iniciando o motor a combustão.	23
Figura 15 – Arquitetura powersplit, modo assistência elétrica.....	24
Figura 16 – Arquitetura powersplit, modo híbrido.	24
Figura 17 – Arquitetura powersplit, modo EV.....	25
Figura 18– Arquitetura powersplit, KERS.....	25
Figura 19 – Engrenagem planetária.....	27
Figura 20 – Raios das engrenagens planetárias.....	28
Figura 21 – Veículo com uma entrada de energia e duas entradas.	30
Figura 22 – Conector tipo 1.....	30
Figura 23 – Conector tipo 2.....	31
Figura 24 – Conector tipo GB/T 20234.	31
Figura 25 – Carregando a bateria apenas com o motor a combustão.	34
Figura 26 – Descarga da bateria em ciclo urbano e modo EV.....	36
Figura 27 – Dados do modo <i>later</i> em percurso urbano.....	37

Figura 28 – Dados do modo <i>now</i> em percurso urbano.....	39
Figura 29 – Dados do modo <i>charge</i> em percurso urbano.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre as categorias de veículos elétricos atuais.....	16
Tabela 2 – Carregando veículo apenas com o motor a combustão.....	33
Tabela 3 – Dados obtidos ao descarregar o veículo em circuito urbano.....	35

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
EV	<i>Electric Vehicle</i>
FCEV	<i>Fuel Cell Electric Vehicles</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
DC	<i>Direct Current</i>
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
KERS	<i>Kinetic Energy Recovery System</i>
TG	Trabalho de Graduação
PCM	<i>Powertrain Control Module</i>
OBD	<i>On-Board Diagnostics</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	COMPONENTES DE UM VEÍCULO ELÉTRICO	13
2.1	Tipos de veículos elétricos.....	14
2.1.1	Hybrid Electric Vehicle (HEV)	14
2.1.2	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i> (PHEV).....	14
2.1.3	<i>Battery Electric Vehicle</i> (BEV ou EV).....	16
2.1.4	<i>Fuel Cell Electric Vehicle</i> (FCEV).	16
3	TIPOS DE ARQUITETURAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	17
3.1	Fluxo de energia da arquitetura paralela.....	18
3.2	Fluxo de energia da arquitetura série.	20
3.3	Fluxo de energia da arquitetura powersplit.....	22
4	ENGRENAGEN PLANETÁRIAS E CONECTORES PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS	27
4.2	Engrenagens planetárias fixas.	28
4.2	Engrenagens planetárias rotacionando.....	29
4.3	Conectores para veículos elétricos.....	29
4.3.1	Tipo 1 (SAE J1772)	30
4.3.2	Tipo 2 (IEC 62196)	30
4.3.3	GB/T 20234.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1	Resultados dos testes da bateria.....	32
5.2	Comportamento do veículo modo later.....	36
5.3	Comportamento do veículo modo <i>now</i>	38
5.4	Comportamento do veículo modo charge.....	40
6	CONCLUSÃO.....	42

1 INTRODUÇÃO

Várias são as fontes de informações que indicam que veículos elétricos representarão uma parcela significativa do mercado automotivo brasileiro. Entretanto, a autonomia destes veículos aliado à falta de infraestrutura para a recarga da bateria ainda é uma questão muito importante a ser estudada, visando dar o suporte adequado ao crescimento da frota.

Sabe-se que, atualmente, não há pontos de recargas suficientes para suprir esta demanda crescente, aspecto que inviabiliza viagens longas em veículos elétricos.

De acordo com Carvalho (2016), o padrão de mobilidade da população brasileira tem passado por modificações nas últimas décadas, reflexo principalmente do processo acelerado da urbanização e a consequente necessidade de locomoção, cujo percurso entre moradia e local de trabalho é cada vez maior.

Visando a melhoria dos meios de transporte, buscou-se, por muito tempo, o aprimoramento dos veículos automotores empregando combustíveis mais limpos e o emprego de tecnologias de combustão mais eficientes. Recentemente, tem-se notado o estímulo ao emprego de outras fontes de energia na matriz energética do transporte urbano, como alternativa ao uso do etanol anidro, da gasolina, do gás natural veicular (GNV) e do diesel.

No trabalho de Ornellas (2013), discute-se sobre os impactos do consumo de veículos com motores elétricos na cidade de São Paulo, apontando um cenário futuro considerando diversas características relevantes ao problema. No trabalho também aborda-se aspectos da disponibilidade de pontos de recarga de energia, bem como o custo de recarga associado.

No trabalho de Pupo (2012), discute-se aspectos da introdução de veículos elétricos no tráfego urbano, relatando os desafios da autonomia das baterias dos veículos elétricos como empecilhos para a evolução mais acelerada do uso de veículos elétricos. No trabalho também discute-se os requisitos de infraestrutura relacionados à disponibilidade de postos de recarga de bateria para veículos elétricos.

Neste Trabalho de Graduação (TG) realizou-se um estudo sobre o consumo de energia de uma TRANSIT PHEV da FORD. Trata-se de um veículo concebido com o intuito de circular no perímetro urbano de Londres, realizando entregas de produtos em zonas de baixa, ultrabaixa e zero emissões. Neste estudo foram avaliadas as características de recarga de sua bateria por meio de um ponto de recarga e motor de combustão, a autonomia elétrica do veículo andando de maneira puramente elétrica em perímetros urbanos, o comportamento do veículo em seus diferentes modos de operação, e por fim, foi feita uma análise financeira, avaliando o preço associado a locomoção deste veículo.

No capítulo 2 apresenta-se uma visão geral sobre um veículo elétrico e alguns dos componentes internos. Os tipos de arquiteturas comumente utilizadas são apresentadas no capítulo 3. Um aspecto importante nos veículos híbridos é o acoplamento e os conectores para a recarga. Estes aspectos são apresentados no capítulo 4. Os resultados e discussão estão apresentados no capítulo 5 e a conclusão no capítulo 6.

2 COMPONENTES DE UM VEÍCULO ELÉTRICO

Os veículos elétricos surgiram como uma alternativa sustentável aos veículos movidos a combustíveis.

Veículos elétricos funcionam por meio de corrente elétrica, e não pela queima de combustível fóssil. Esse mecanismo depende principalmente dos componentes apresentados na Figura 1.

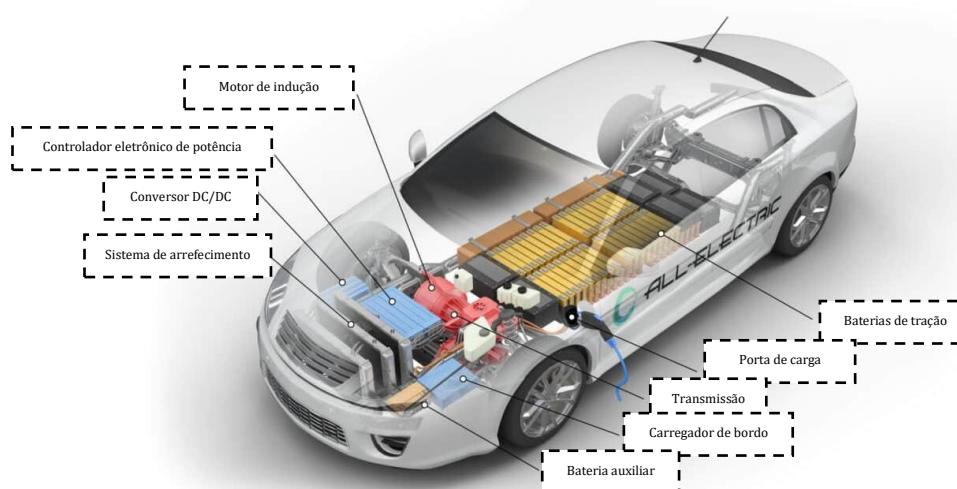
Figura 1 – Diagrama de blocos dos componentes de um veículo elétrico.



Fonte. Elaborada pelo autor

Todo veículo elétrico tem uma arquitetura similar a apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Arquitetura de um veículo elétrico.



Fonte. Adaptado de Alternative Fuels Data Center (2022)

A energia utilizada para movimentar o veículo, é armazenada na sua bateria de tração. Portanto, para movimentar o veículo, a corrente contínua (CC) que sai da bateria de tração, é ajustada para o nível de corrente que o motor elétrico demanda por meio do controlador eletrônico de potência, transformada em corrente alternada (CA) por meio de um inversor, e por fim, é transformada na energia mecânica que será enviada para as rodas por meio da transmissão, pelo motor de indução.

Também é necessário um conversor DC/DC para transformar a alta tensão que sai da bateria de tração em baixa tensão. Esta conversão é necessária para recarregar a energia da bateria auxiliar, responsável pelo funcionamento dos acessórios eletrônicos do veículo,

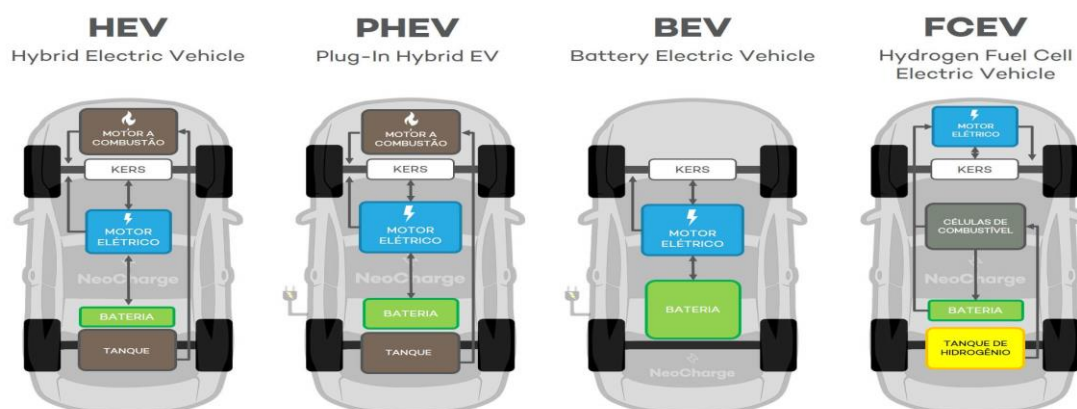
como rádio, ar-condicionado, etc.

Vale ressaltar que veículos elétricos tendem a esquentar muito, devido às altas correntes que circulam, portanto é necessário um bom sistema de arrefecimento para controlar a temperatura.

2.1 Tipos de veículos elétricos.

Atualmente os veículos elétricos se dividem em 4 categorias, como apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Categorias de veículos elétricos.



Fonte. (NEOCHARGE, 2021)

2.1.1. Hybrid Electric Vehicle (HEV) .

Os veículos híbridos além de usar o motor a combustão, sendo reabastecido normalmente com gasolina, etanol ou *diesel*, os híbridos também possuem um motor elétrico.

Utilizando tanto o motor elétrico, quanto o motor a combustão interna, os híbridos conseguem apresentar uma maior eficiência energética que os veículos movidos puramente por motores a combustão. Estes motores também poluem menos e economizam no reabastecimento de combustível, já que o motor elétrico complementa a atividade do motor a combustão em alguns momentos (NEOCHARGE, 2021).

Os Modelos HEV apresentam baterias pequenas se comparados aos outros modelos de veículos elétricos, por este motivo, não apresentam um modo de operação que os possibilitem se locomover apenas utilizando o motor elétrico. Outra limitação do modelo, é não possibilitar a recarga da bateria por meio de fontes de rede elétrica, dessa forma, o reabastecimento do veículo ocorre por meio da geração de energia do próprio motor a combustão e do reaproveitamento de energia cinética por meio do *Kinetic Energy Recovery System* (KERS.).

2.1.2. Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV).

Os veículos PHEVs apresentam baterias maiores do que os HEVs, o que os possibilitam a ter um modo de operação, em que o veículo se locomove puramente por meio de energia elétrica, por distâncias de 30 a 120 Quilômetros (NEOCHARGE, 2021).

O veículo Transit PHEV da FORD utilizado neste estudo, apresenta 4 diferentes modos de operação, descritos a seguir.

1. Modo *EV* – Neste modo veículo utiliza apenas o motor elétrico para movimentar-se, até que a energia mostrada no *display* fique próxima de 2,5% da carga máxima. A partir deste momento o veículo liga automaticamente o motor a combustão, que auxilia o motor elétrico a movimentar o veículo, e também carrega a sua bateria até os 5% mostrados no *display*. A partir dos 5%, o veículo desliga novamente o motor a combustão e entra em *loop*, onde o veículo utiliza apenas o motor elétrico para se movimentar na queda de carga da bateria de 5% para 2,5%, e utiliza o motor elétrico e a combustão na subida de carga de 2,5% para 5%.

Vale ressaltar que a carga mostrada no *display* do veículo não condiz com a sua carga real. Dessa forma, evita-se que a carga real fique abaixo de 18%, para que em momentos de urgência como uma aceleração rápida numa ultrapassagem ou algo similar, ainda exista a possibilidade do motor elétrico auxiliar o motor a combustão.

2. Modo *auto* – Neste modo o veículo mantém a carga da bateria no display em torno de 18%, caracterizando assim a carga mínima da operação normal. O veículo neste modo, opera com o motor a combustão e com o motor elétrico.
3. Modo *later* – Neste modo o valor da carga na bateria se mantém no momento que este modo é selecionado. O valor da carga deve estar entre 18 e 75% no display para este modo poder ser selecionado. Este modo é útil quando se deseja conservar a carga da bateria, para utilizá-la em um momento posterior. Neste modo também tem-se o motor a combustão e elétrico trabalhando juntos para manter a carga mostrada no *display* constante.
4. Modo *charge* – Neste modo o veículo carregará a carga da bateria até os 75% mostrados no *display*, caracterizando assim a carga máxima de sua operação normal. O veículo se movimenta a combustão até carregar os 75%, e a partir deste momento aciona também o motor elétrico, mantendo a carga na bateria na capacidade de carga máxima. Vale mencionar que carregar a bateria acima dos 75% só é possível por meio de carregamentos pela rede elétrica.

Quando o veículo encontra-se no estado de carga desejado, aproveita-se o elevado torque instantâneo proporcionado pelo motor elétrico para começar a movimentar-se e andar em baixas velocidades, sem o auxílio do motor a combustão. A partir de determinada velocidade o veículo aciona o motor a combustão para auxiliar o motor elétrico.

Veículos PHEVs são muito úteis em viagens rotineiras de pequenas distâncias. Isto se deve ao fato, que a junção de uma bateria de maior capacidade e a possibilidade de recarga pela rede, faz com que o veículo PHEV consiga ser utilizado sem a necessidade de acionar o motor a combustão, em um sistema com pequenos percursos no modo EV, após a recarga e torna a fazer o mesmo percursos, tornando-o propício para vans de entregas, ambulâncias, vans escolares e assim por diante.

2.1.3. *Battery Electric Vehicle* (BEV ou EV).

O veículo elétrico a bateria usa eletricidade como única fonte de energia. Sua bateria é maior que a dos outros tipos de veículos elétricos, o que proporciona uma autonomia elétrica também maior, em comparação aos outros veículos até então mencionados. A bateria é recarregada utilizando a rede elétrica e os KERS (NEOCHARGE, 2021).

Como nesta categoria os veículos são movidos exclusivamente por eletricidade, esses veículos elétricos a bateria são considerados 100% elétricos.

2.1.4. *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV).

Veículos a combustível de hidrogênio, são os tipos de veículos elétricos menos prejudiciais ao meio ambiente. Sua autonomia é a maior entre os veículos elétricos atualmente.

Veículos elétricos à célula de combustível utilizam o gás hidrogênio como principal fonte de energia e o KERS, ajuda na recarga de sua bateria. Veículos de célula a combustível combinam hidrogênio e oxigênio para produzir a eletricidade que alimentará o motor elétrico. Uma vez que funcionam totalmente por eletricidade, esses veículos são considerados veículos elétricos (NEOCHARGE, 2021).

Uma idéia geral da diferença entre estes veículos é apresentada na Tabela 2.

Tabela 1 – Comparação entre as categorias de veículos elétricos atuais.

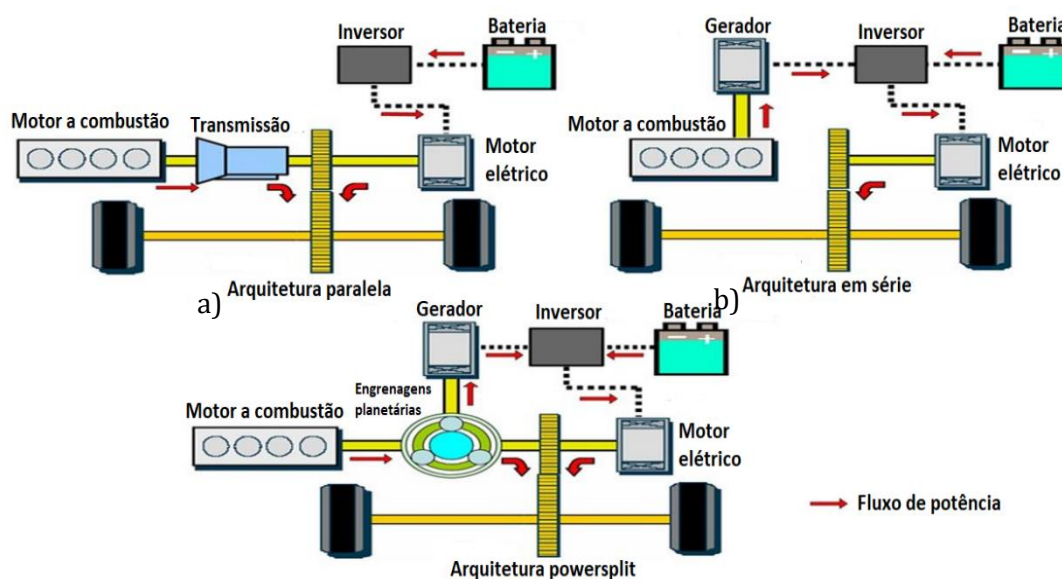
	HEV	PHEV	BEV	FCEV
Motor	Combustão interna + Elétrico	Combustão interna + Elétrico	Elétrico	Elétrico
Fonte de energia	Combustível + KERS	Combustível + rede elétrica + KERS	Rede elétrica + KERS	Hidrogênio + KERS
Capacidade da bateria	1 a 2 kWh	5 a 20 kWh	20 a 100 kWh	1 a 2 kWh
Autonomia	400 a 700 km Combustível	30 a 120 km - Bateria 400 a 700 km – Combustível	100 a 400 km Bateria	320 a 600 km Combustível
Recarga/Reabastecimento	KERS + Postos de combustível	KERS + Postos de combustível + Rede elétrica	KERS + Rede elétrica	KERS + Recarga de hidrogênio

Fonte. Adaptado de Neocharge (2021)

3 TIPOS DE ARQUITETURAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Atualmente, existem três tipos de arquiteturas para acoplar um motor a combustão em conjunto com um motor elétrico. Na Figura 4, é possível analisar a arquitetura de cada uma destas três formas de trabalho.

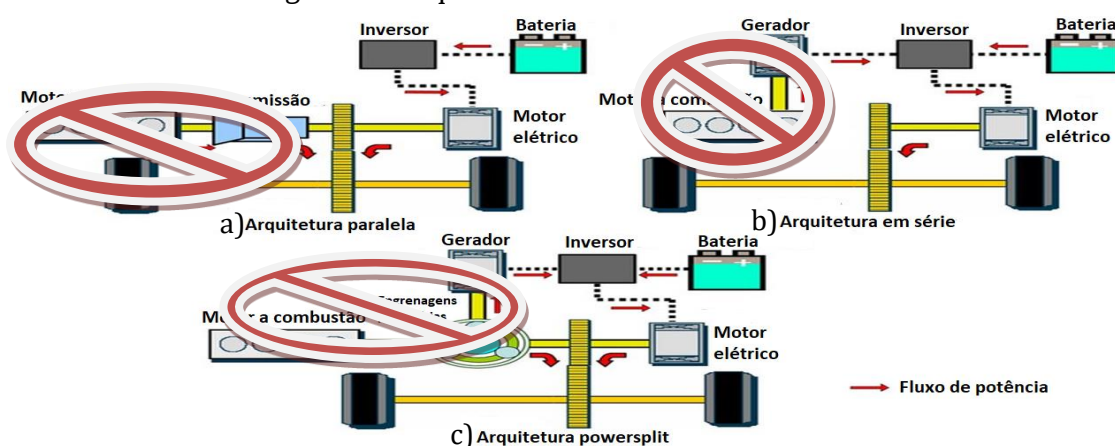
Figura 4 – Arquiteturas de motor a combustão operando em conjunto com motor elétrico.



Fonte. (Liu and Peng, 2008)

Analisando-se as imagens apresentadas na Figura 5, é possível perceber que todas as arquiteturas têm algo em comum entre si. Se retirarmos o motor a combustão, a transmissão e os geradores de qualquer uma das arquiteturas, nos restará a arquitetura de um veículo puramente elétrico.

Figura 5 – Arquiteturas base de veículos elétricos.

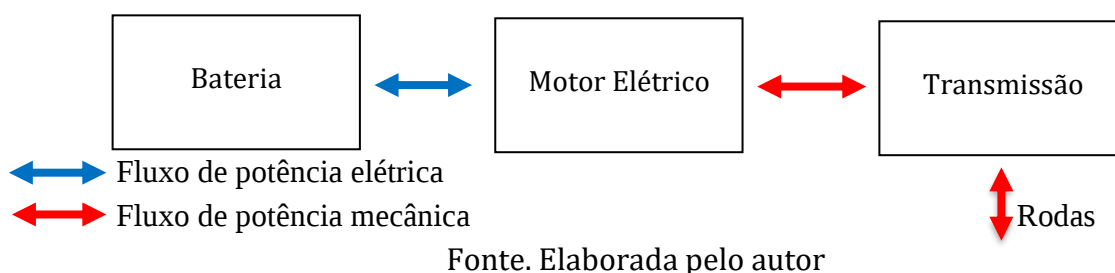


Fonte. Adaptado de Liu and Peng (2008)

Como a arquitetura dos BEVs são relativamente simples e está presente em todos os tipos de arquiteturas de veículos híbridos, neste capítulo aborda-se apenas o funcionamento das arquiteturas em série, paralelo e *powersplit*.

Apresenta-se na Figura 6 uma imagem simplificada da arquitetura de um veículo elétrico, e ao longo do capítulo será perceptível que as demais arquiteturas apresentadas são apenas maneiras diferentes de se colocar um motor a combustão nesta estrutura.

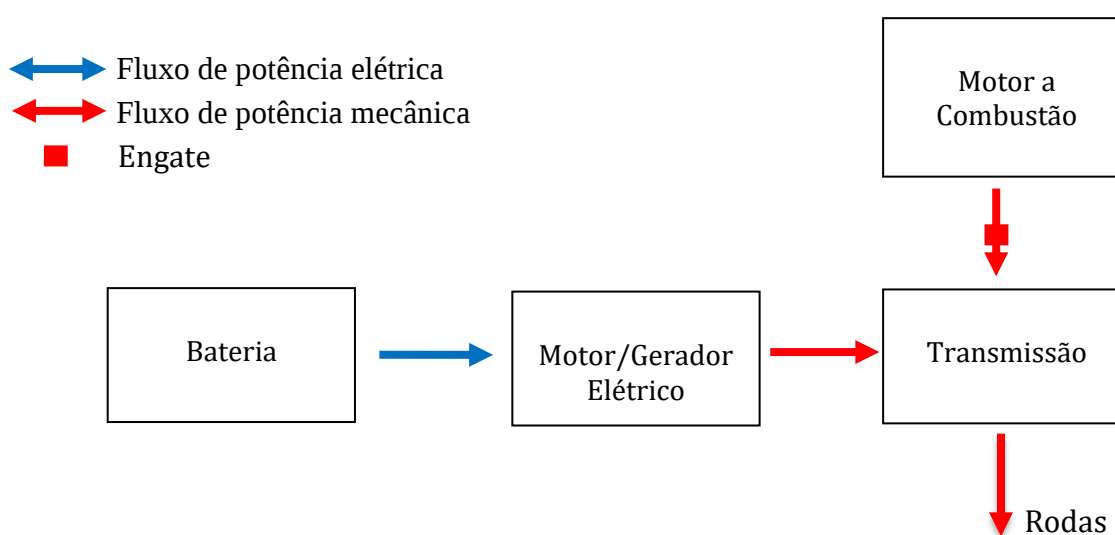
Figura 6 – Arquitetura simplificada de veículos puramente elétricos.



3.1 Fluxo de energia da arquitetura paralela.

Na arquitetura dos veículos paralelos, o motor a combustão é ligado à transmissão por meio de um sistema de engate, permitindo assim que o motor conecte-se e desconecte-se do fluxo de potência do veículo, em momentos propícios para cada momento de sua condução, apresenta-se na Figura 7, uma ilustração simplificada de como estes tipos de veículos operam em cada um de seus modos de operação.

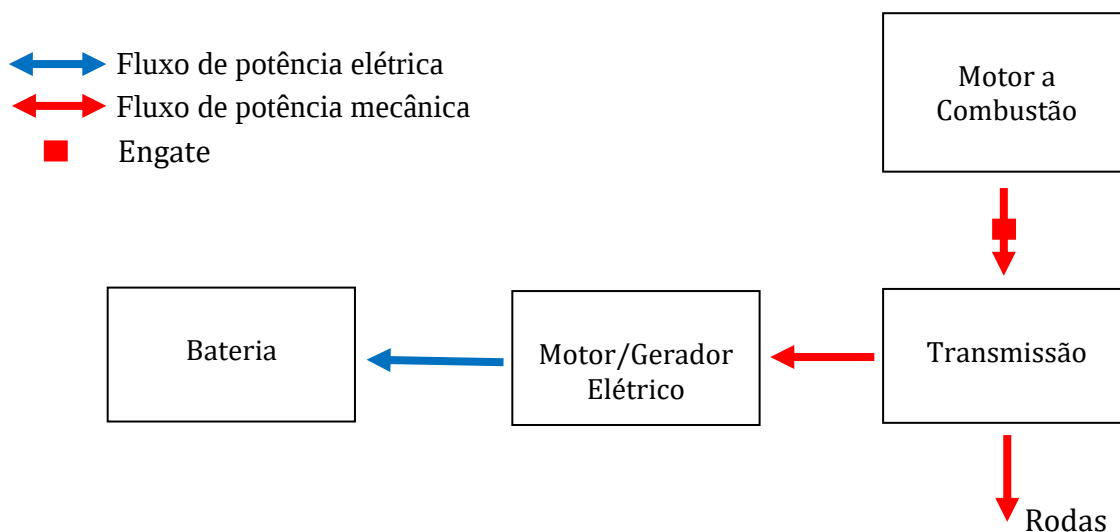
Figura 7 – Arquitetura paralela, modo híbrido.



No modo híbrido, o motor a combustão e o elétrico trabalham juntos para fornecer potência as rodas do veículo, portanto, o engate se encontra conectado e o veículo recebe a potência mecânica por meio do motor a combustão e do motor elétrico.

No modo charge, nos momentos que deseja-se carregar a bateria, o motor a combustão gera potência o bastante para movimentar as rodas, e gerar energia em seu gerador elétrico, recarregando assim a bateria do veículo, como mostrado na Figura 8.

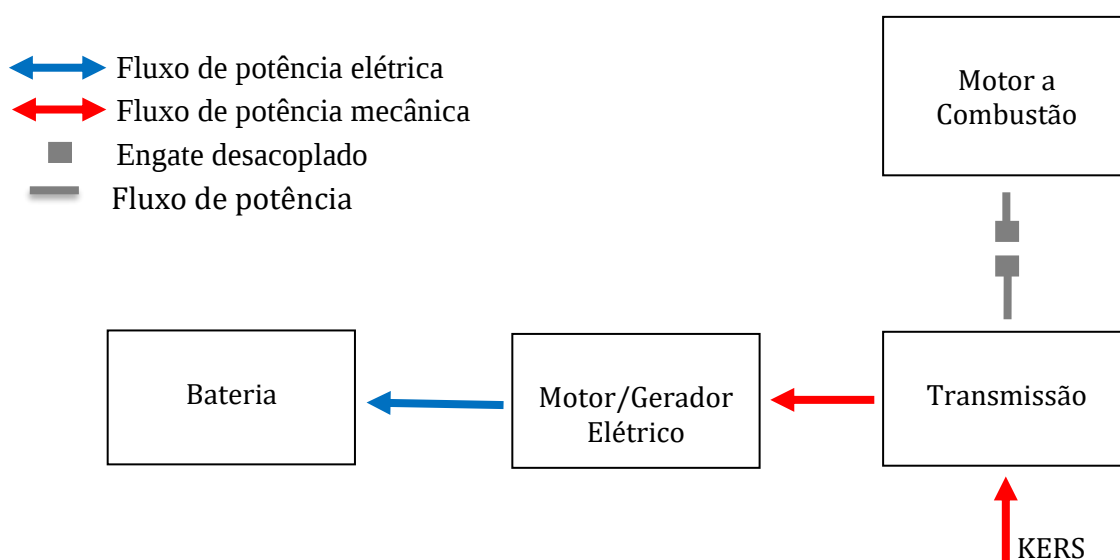
Figura 8 – Arquitetura paralela, modo charge.



Fonte. Elaborada pelo autor

Para recarregar a bateria por meio do KERS, o engate do motor à transmissão é desconectado, tirando assim o motor a combustão do fluxo de potência. A energia provinda dos KERS passa pela transmissão, e chega até o gerador elétrico, que por sua vez irá transformar esta energia mecânica em elétrica, gerando a carga que irá ser armazenada na bateria de alta tensão, como mostrado na Figura 9.

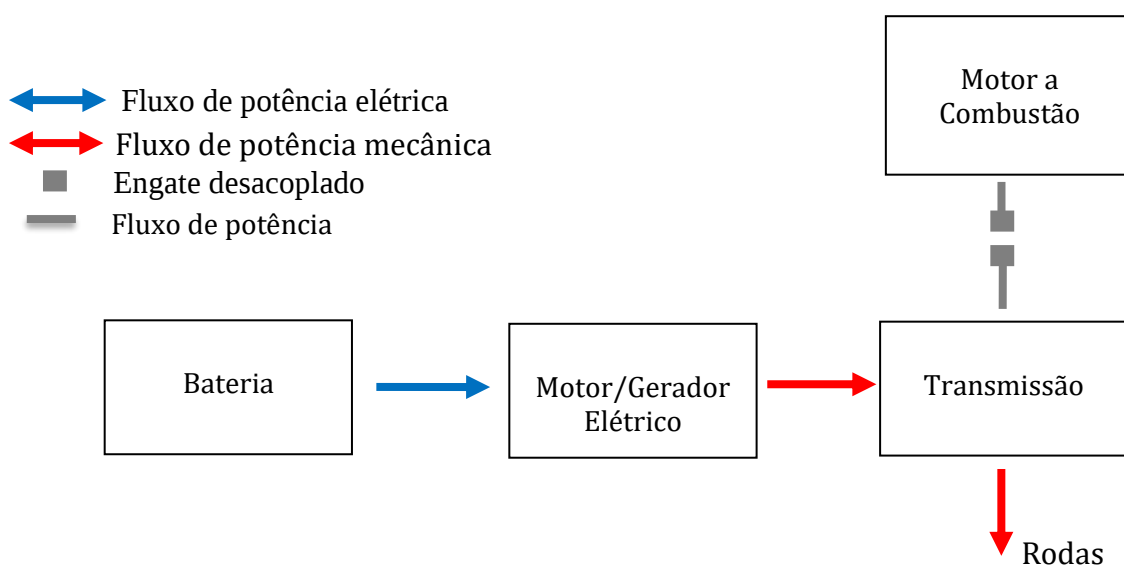
Figura 9 – Arquitetura paralela, KERS.



Fonte. Elaborada pelo autor

No modo EV, o motor a combustão é desconectado da transmissão, evitando assim, a perda de energia que o motor elétrico teria se tivesse que girar também o motor a combustão, mesmo não estando contribuindo energeticamente no momento com o fluxo de potência do veículo, como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Arquitetura paralela, modo EV



Fonte. Elaborada pelo autor

Vale ressaltar que no ciclo normal de funcionamento de veículos com arquitetura paralela, o veículo inicia o movimento apenas com o motor elétrico, pois o motor elétrico consegue fornecer torque máximo, já no início da rotação, diferente de um motor a combustão que apresenta um baixo torque no início de sua rotação. O motor a combustão, também apresenta dificuldades para controlar a estequiometria no início da rotação, fazendo com que nestes momentos, gere mais gases poluentes e particulados, portanto, iniciar o movimento do veículo com o motor elétrico, também diminui a geração de gases poluentes.

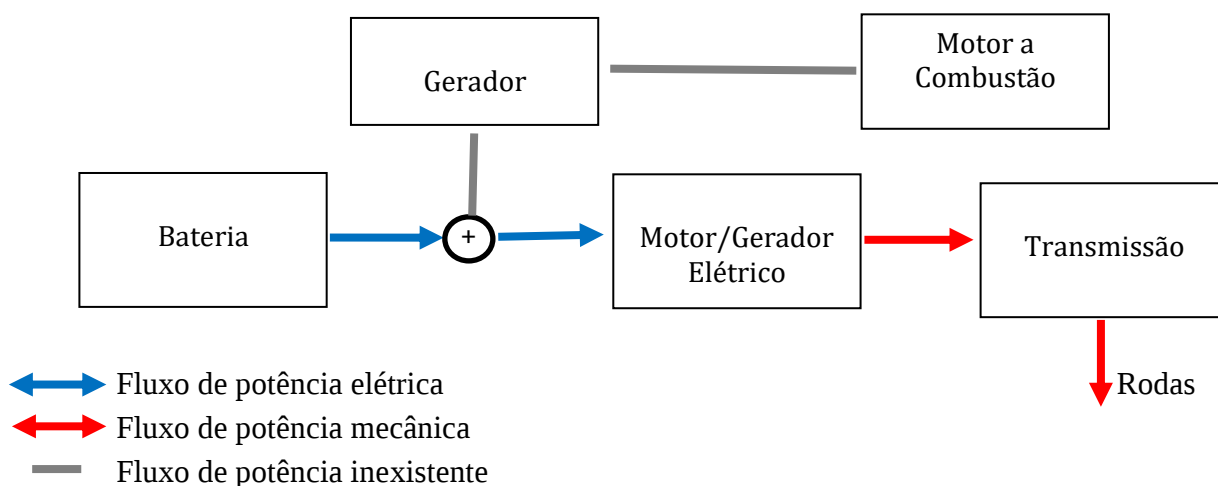
Em resumo, os veículos com arquitetura paralela, geralmente iniciam o movimento apenas com o motor elétrico, e a partir de certa demanda de torque, acopla o motor a combustão no sistema, para auxiliar o motor elétrico. Este acoplamento, também fornece a rotação necessária para o motor a combustão dar a partida, dispensando assim a necessidade do motor de partida do veículo.

3.2 Fluxo de energia da arquitetura série.

Na arquitetura dos veículos com motores em série, o motor a combustão é diretamente ligado a um gerador elétrico, portanto, diferente da arquitetura paralela em que o motor a combustão tem a função de fornecer potencial mecânica ao veículo, na arquitetura em série o motor a combustão é utilizado para gerar uma determinada corrente empregando um gerador, que auxiliara a bateria elétrica do veículo a fornecer corrente ao

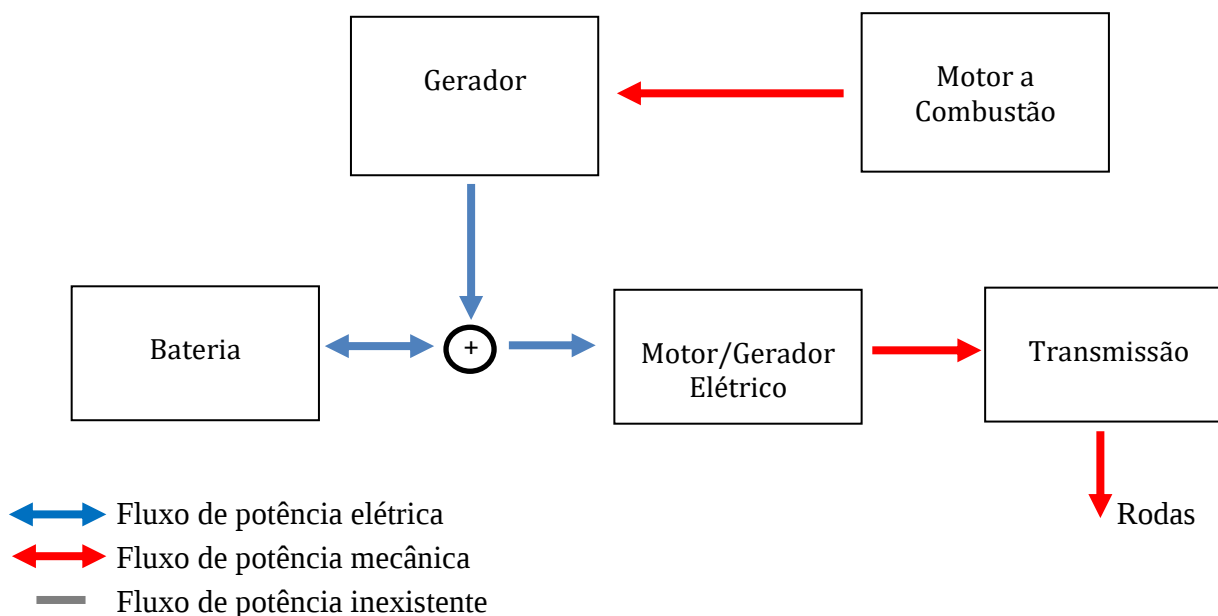
motor elétrico. Portanto, não existe a necessidade de um engate para separar o motor a combustão do fluxo de potência do veículo, já que o mesmo se encontra separado da parte mecânica do veículo. Apresenta-se nas Figuras 11, 12 e 13 a arquitetura de um veículo com motores em série, em seus diferentes modos de operação.

Figura 11– Arquitetura em série, modo EV.



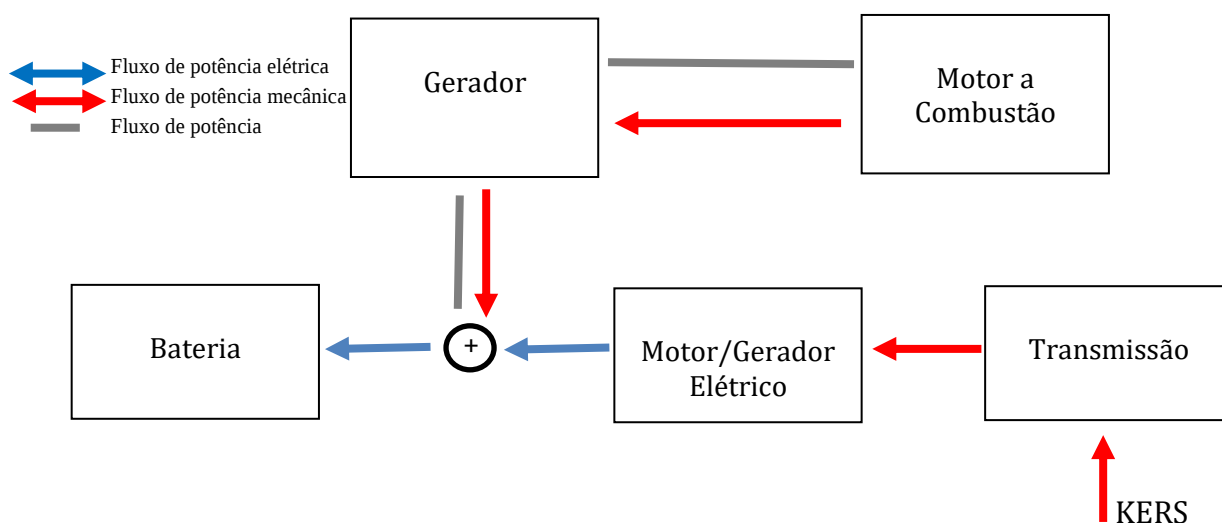
Fonte. Elaborada pelo autor

Figura 12 – Arquitetura em série, modo híbrido.



Fonte. Elaborada pelo autor

Figura 13 – Arquitetura em série, KERS.



Fonte. Elaborada pelo autor

Veículos com arquitetura em série são geralmente projetados para possibilitar o veículo trabalhar puramente no modo EV, utilizando o motor a combustão apenas em casos de emergências, portanto, geralmente os PHEVs apresentam a arquitetura em série, como é o caso do veículo estudado neste trabalho.

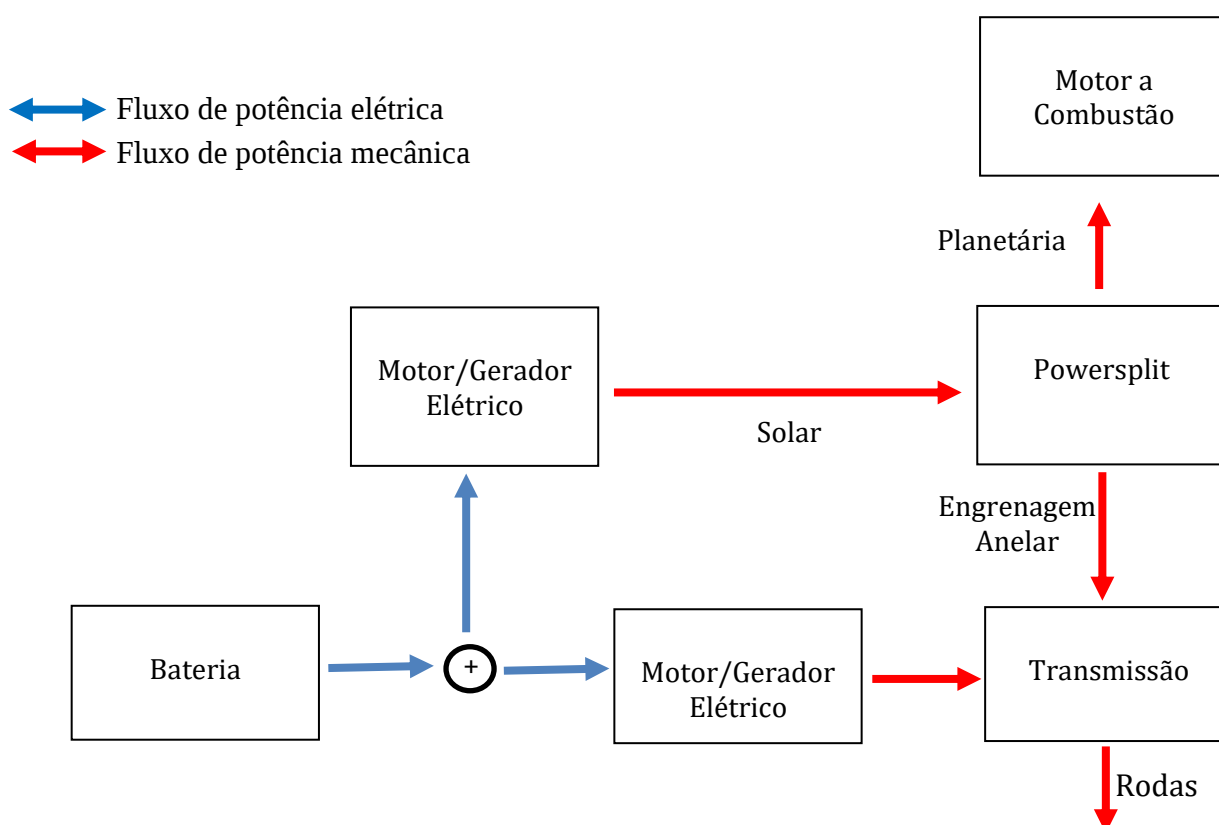
É possível pensar em veículos com arquitetura em série, como BEVs, com um gerador de energia a combustão acoplado em sua bateria, já que o motor a combustão em nenhum momento fornece energia mecânica diretamente para o fluxo de potência do veículo.

3.3 Fluxo de energia da arquitetura powersplit.

A arquitetura *powersplit* é a arquitetura mais complexa entre às três arquiteturas. Funciona como uma junção da arquitetura em série e a paralela, empregando um sistema de engrenagens chamado de engrenagens planetárias. Este sistema de engrenagens, permite que o motor a combustão forneça energia mecânica diretamente para a transmissão do veículo, de maneira semelhante a arquitetura paralela, e ao mesmo tempo, permite que o motor a combustão recarregue a bateria ou forneça corrente para seu motor elétrico, assim como na arquitetura em série. Uma explicação do funcionamento das engrenagens planetárias mais detalhada, é apresentada no capítulo 4.

Na arquitetura dos veículos *powersplit*, com exceção de quando se está com uma carga muito baixa na bateria de alta tensão, o veículo inicia o movimento a partir da energia provinda da bateria do veículo, em um processo semelhante à arquitetura paralela. Como apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Arquitetura powersplit, iniciando o motor a combustão.

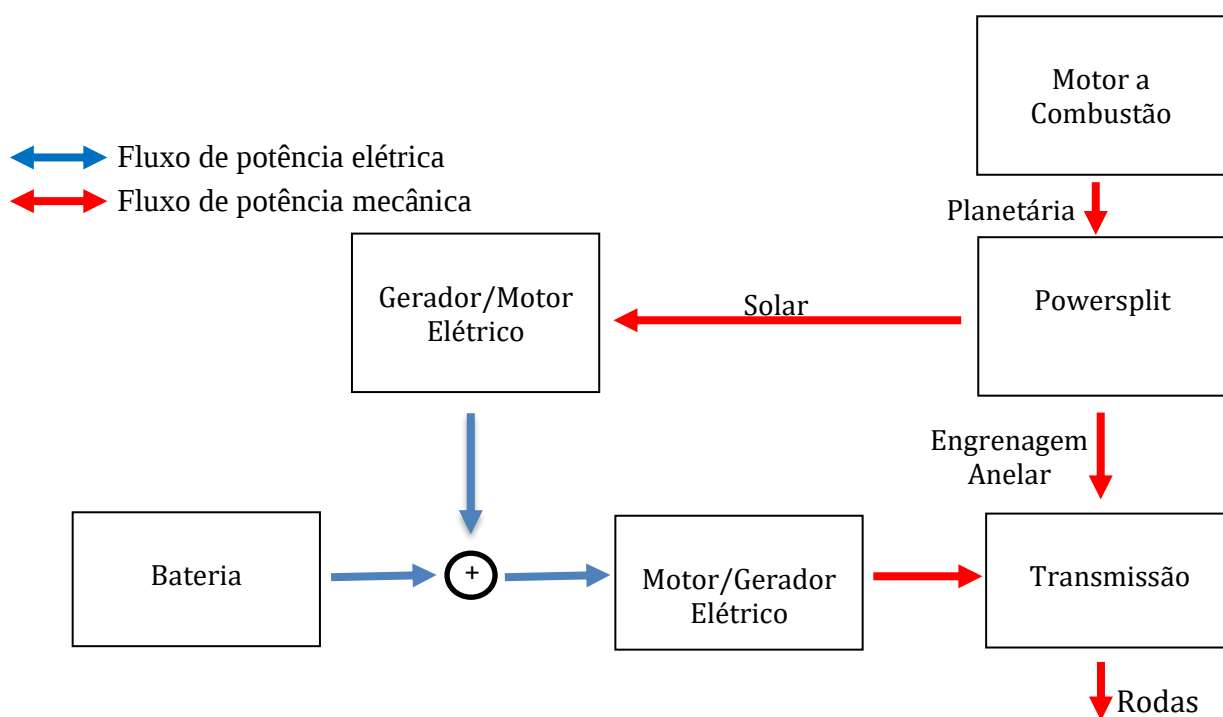


Fonte. Elaborada pelo autor

Neste processo, a bateria fornece energia para dois motores elétricos do veículo, sendo que ambos fornecem energia mecânica para a transmissão. A diferença no papel de cada um destes motores elétricos é que um forneceria energia mecânica diretamente para a transmissão, enquanto o outro transmite energia para a transmissão por meio do sistema de engrenagens planetárias. Esta passagem de energia por meio do sistema de engrenagens planetárias é de fundamental importância, pois o motor a combustão inicia seu movimento, a partir da energia provinda do sistema de engrenagens planetárias, portanto, este processo ocorre para garantir que mesmo com o motor funcionando totalmente por meio de energia elétrica, ainda assim, exista rotação nas engrenagens que compõe o sistema de engrenagens planetárias.

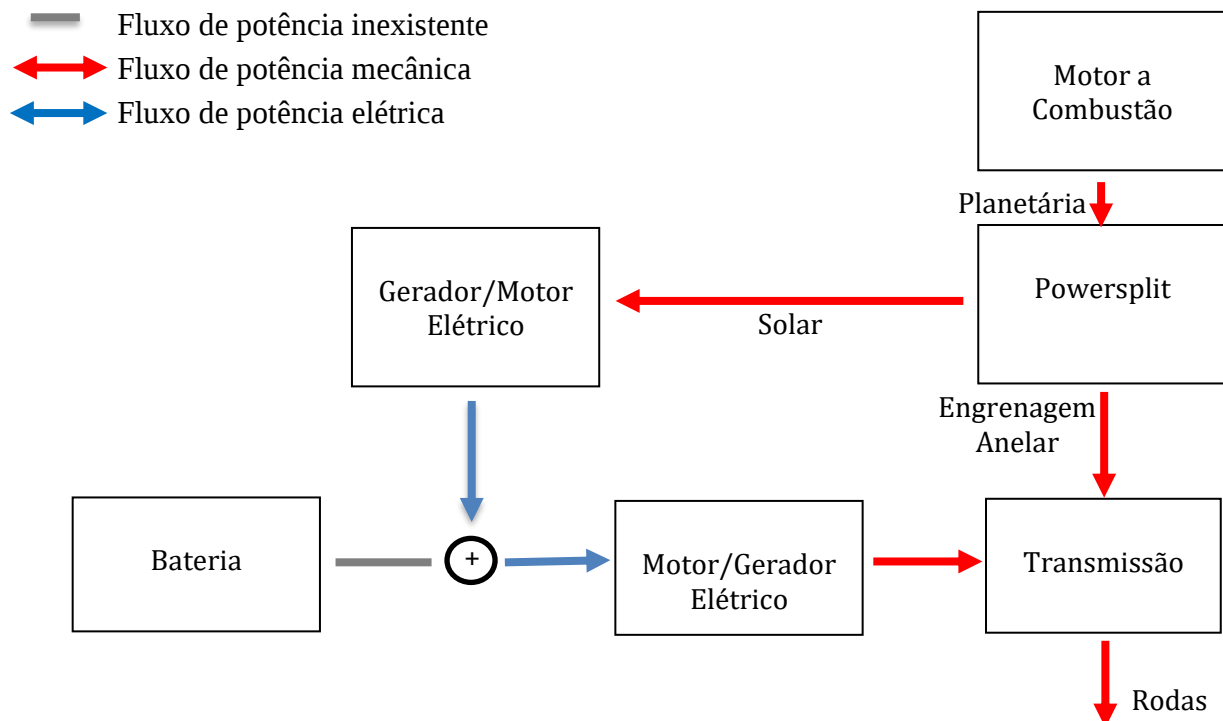
Nas Figuras 15 e 16, são mostrados o comportamento da arquitetura no modo híbrido e no modo assistência elétrica, ambos são bem similares. A diferença de um para o outro, é que no modo assistência elétrica, a bateria fornece energia para o sistema, e no modo híbrido, não se fornece energia para o sistema.

Figura 15 – Arquitetura powersplit, modo assistência elétrica.



Fonte. Elaborada pelo autor

Figura 16 – Arquitetura powersplit, modo híbrido.

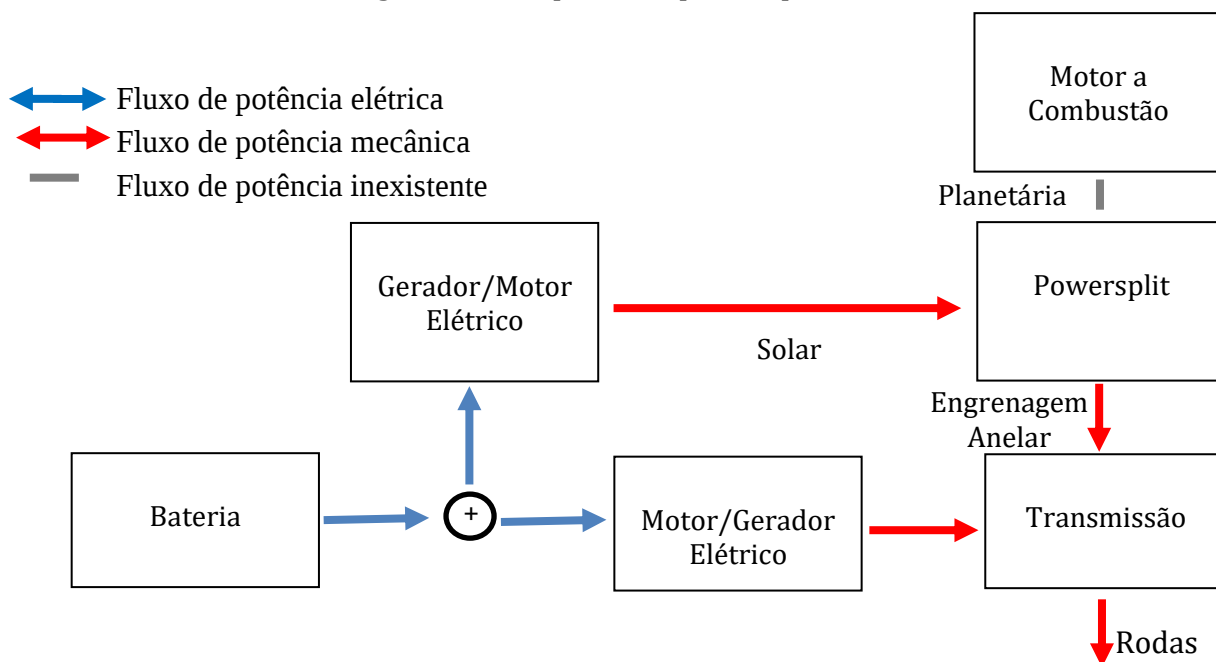


Fonte. Elaborada pelo autor

O modo assistência elétrica, opera principalmente em momentos onde o veículo exige uma maior potência em suas rodas, ou seja, em momentos onde o pedal de aceleração é pressionado mais abruptamente.

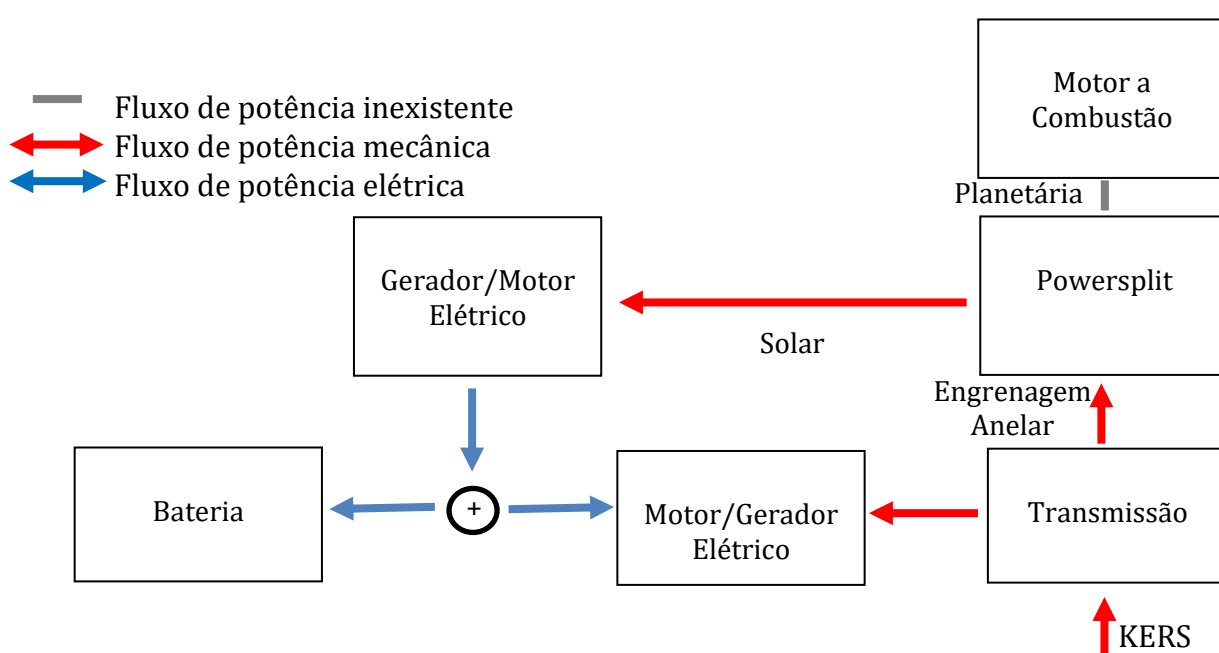
Observando as Figuras 17 e 18, nota-se que em todas as arquiteturas a lógica do modo EV é exatamente a mesma e segue o princípio de funcionamento dos veículos BEV. As arquiteturas simplesmente ignoram todos os outros componentes da arquitetura, e funcionam exatamente como um veículo BEV.

Figura 17 – Arquitetura powersplit, modo EV.



Fonte. Elaborada pelo autor

Figura 18 – Arquitetura powersplit, KERS.



Fonte. Elaborada pelo autor

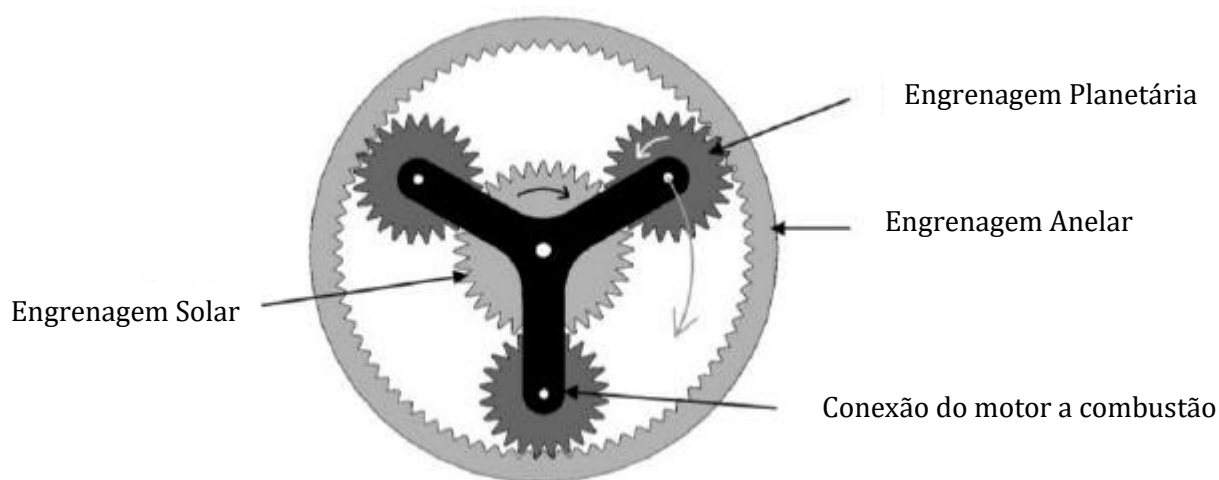
Também é possível notar, que em todas as arquiteturas, o princípio da lógica do KERS é semelhante. O KERS funciona simplesmente como o modo EV, porém com o fluxo de potência invertido.

4 ENGRENAGEN PLANETÁRIAS E CONECTORES PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

4.1 Fluxo de energia da arquitetura powersplit.

As engrenagens planetárias são utilizadas em veículos com arquiteturas *powersplit*. Apresenta-se uma ilustração de uma engrenagem planetária na Figura 19.

Figura 19 – Engrenagem planetária.



Fonte. (WADE, 2013)

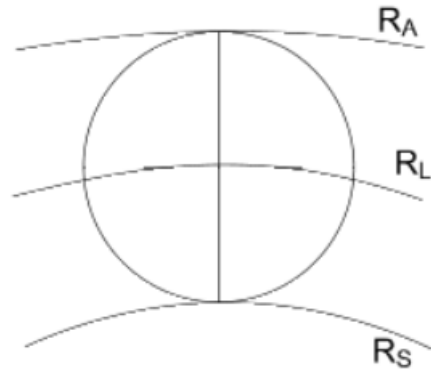
A velocidade angular que a engrenagem planetária apresenta (ω_c), é uma relação entre a velocidade angular da engrenagem solar (ω_s) e a velocidade angular da engrenagem anelar (ω_a) (ROYMECH, 2021). É possível obter a velocidade angular da engrenagem planetária pela Equação 1.

$$\omega_c = \frac{\rho * \omega_s + \omega_a}{1 + \rho} \quad (1)$$

Onde ω_c representa a velocidade angular que a engrenagem planetária rotaciona em torno da engrenagem solar, enquanto ω_s e ω_a representam a velocidade angular que à engrenagem solar e anelar rotacionam em torno de si mesmas. Portanto, a engrenagem solar e anelar estão fixas no sistema de engrenagem planetária, enquanto as engrenagens planetárias estão rotacionando tanto em torno de si mesma, quanto em torno da engrenagem solar. Ignorou-se a rotação que a engrenagem planetária tem sobre si mesma, pois ela não apresenta significância para os assuntos abordados neste capítulo. Também adotou-se que ρ é a razão entre o raio da engrenagem anelar (R_A) e o raio da engrenagem solar (R_s). Focando em apenas uma das engrenagens planetárias, pode-se visualizar os

raios R_A e R_S como conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Raios das engrenagens planetárias.



Fonte. (ROYMECH, 2021)

Onde.

$$\rho = \frac{R_A}{R_S} \quad \text{como } R_A > R_S, \text{ temos que } \rho > 1 \quad (2)$$

Nas engrenagens planetárias em arquiteturas *powersplit*, a engrenagem solar é conectada ao motor elétrico, portanto, é por meio da engrenagem solar que o motor elétrico fornece e recebe energia do sistema. Já as engrenagens planetárias, estão conectadas ao motor de combustão do veículo, portanto é por meio das engrenagens planetárias que o motor a combustão recebe e fornece energia para o sistema. Por fim, tem-se a engrenagem anelar, que está conectada à transmissão, portanto ela é a estrutura responsável por fornecer ou receber a energia para as rodas.

Para explicar melhor como este sistema funciona, apresenta-se de uma maneira mais detalhada, algumas maneiras com que as engrenagens planetárias podem atuar.

4.2 Engrenagens planetárias fixas.

Quando o veículo está operando em modo EV, o motor elétrico fornece energia para a engrenagem solar, que por sua vez, rotaciona as engrenagens planetárias em torno do próprio eixo. As engrenagens planetárias, apesar de rotacionarem em torno do próprio eixo, não rotacionam em torno da engrenagem solar, pois o motor a combustão permanece desligado e travado. Isto resulta que a rotação provinda da engrenagem solar, passa pela engrenagem planetária e chega até a engrenagem anelar, rotacionando-a e fornecendo a energia necessária para a rotação das rodas do veículo. Tem-se então um sistema onde $\omega_c = 0$, Logo.

$$\frac{\rho * \omega_s + \omega_a}{1 + \rho} = 0 \quad (3)$$

$$\omega_a = -\rho * \omega_s = -\frac{R_A}{R_S} * \omega_s \quad (4)$$

Então, no modo EV, a engrenagem solar gira a engrenagem anelar com uma velocidade angular maior do que a dela mesma, e isso se deve ao fato, de que a razão entre o raio anelar e raio solar é sempre maior que um.

O raciocínio inverso é utilizado para regenerar a bateria por meio do KERS. Portanto, quando deseja-se desacelerar o veículo, a energia cinética que a engrenagem anelar contém, é transferida para a engrenagem solar do veículo, por meio das engrenagens planetárias, esta transferência de energia da engrenagem anelar para a planetária desacelera o veículo e recarrega sua bateria.

4.2 Engrenagens planetárias rotacionando

As engrenagens planetárias estão todas em movimento, em situações que o veículo está se movimentando em modo híbrido ou modo de assistência elétrica.

Como mencionado anteriormente, o veículo tende a iniciar seu movimento apenas com a força de sua bateria elétrica, pois o motor elétrico consegue fornecer seu torque máximo já no início de rotação. Portanto, a situação mencionada anteriormente, onde a engrenagem solar fornece energia para as engrenagens planetárias travadas, e consequentemente para a engrenagem anelar, fazendo que o veículo se movimente. Porém, a partir de certa demanda de torque, as engrenagens planetárias são destravadas, dando assim giro para o motor a combustão e preparando-o para dar início ao seu processo de combustão e consequentemente a condução em modo híbrido.

No modo híbrido o motor elétrico fornece energia para o *powersplit*, juntamente com o motor a combustão, portanto, tem-se todas as engrenagens rotacionando no *powersplit*. A engrenagem solar fornecendo energia para o sistema pelo motor elétrico, as engrenagens planetárias, agora destravadas, fornecendo energia para o sistema por meio do motor a combustão e a engrenagem anelar, transferindo toda a energia para a transmissão.

4.3 Conectores para veículos elétricos

Existem diferentes padrões de conectores usados em veículos elétricos, que se diferem de acordo com o veículo e com a velocidade de recarga. A maioria dos veículos elétricos são equipados com uma ou duas entradas de energia elétrica. Os veículos equipados com apenas uma entrada, recebem conectores que fornecem energia tanto na forma de corrente contínua (CC) quanto na de corrente alternada (CA) por uma única entrada. Os veículos com duas entradas, separam uma entrada para conectores CC e outra entrada para conectores CA (NEOCHARGE, 2021). Apresenta-se na Figura 21, os dois modelos para entrada de energia em veículos elétricos.

Figura 21 – Veículo com uma entrada de energia e duas entradas.



Fonte. (NEOCHARGE, 2021)

Carregadores CC fornecem uma potência maior que carregadores CA, o que acarreta um menor tempo de recarga. Apresentam-se nas próximas subseções explicações mais detalhadas sobre os tipos dos conectores mais comuns atualmente.

4.3.1 Tipo 1 (SAE J1772)

Este tipo de conector é muito utilizado na região asiática e norte-americana, possibilita o carregamento em carga lenta CA com potência de até 3,7 kW e carregamento em carga rápida CA com potência até 7,4 kW, é projetado para carregamento em rede monofásica (NEOCHARGE, 2021).

O conector Tipo 1 possui pinos de fase, neutro e terra, além de outros dois pinos para a comunicação com o veículo e proteção para travar o plugue, com o intuito de evitar desconexão. Para o carregamento rápido em CC, a tomada Tipo 1 ganha dois grandes pinos como apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Conector tipo 1.



Fonte. (NEOCHARGE, 2021)

4.3.2 Tipo 2 (IEC 62196)

Este conector também possibilita o carregamento em carga lenta CA de até 3,7 kW, e carregamento em carga rápida CA de até 22 kW. Ele possui dois pinos adicionais em relação ao tipo 1, eles correspondem às fases extras necessárias para suportar uma potência de recarga maior, ao se utilizar a carga rápida em uma rede trifásica (NEOCHARGE, 2021).

Para o carregamento rápido em corrente contínua de até 350kW. Adiciona-se dois grandes pinos ao conector como apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Conector tipo 2.



Fonte. (NEOCHARGE, 2021)

4.3.3 GB/T 20234

É o conector padrão chinês, com potência de até 22 kW a partir de uma rede trifásica. O formato é parecido com o conector Tipo 2, porém eles não são compatíveis fisicamente (NEOCHARGE, 2021).

O conector GB/T 20234 DC de carga rápida em corrente contínua, suporta uma potência de até 250 kW. É composto por 5 pinos de alimentação, sendo 2 para alimentar a bateria principal em corrente contínua, 2 para a bateria auxiliar de baixa tensão e 1 terra, além de 4 contatos de sinal como apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Conector tipo GB/T 20234.



Fonte. (NEOCHARGE 2021)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Para realizar o estudo, foi utilizado um veículo Transit PHEV da FORD com arquitetura em série, contendo o conector tipo 2 para as realizações de recarga de bateria.

Os sensores utilizados para observar os dados de interesse, foram os sensores existentes na própria produção do veículo, sensores estes, responsáveis pelo sistema de controle do veículo. O método de aquisição destes dados foi por meio do *software* INCA V7.2. Este *software* possibilita, que por meio da conexão de um notebook a uma entrada *On-Board Diagnostic* (OBD) do veículo, seja possível acessar aos dados contidos no *power control module* (PCM) do veículo, ou seja, todos os dados enviados pelos sensores do veículo.

Inicialmente a bateria do veículo foi recarregada de 0% em seu *display*, até sua carga total (100% em seu *display*), por meio de um ponto de recarga para veículos elétricos com conector tipo 2. Avaliou-se o tempo necessário para que o veículo realize uma recarga completa de sua bateria e a potência entregue nesta recarga completa.

Estes dados são fornecidos pelo próprio aparelho de recarga de bateria elétrica, portanto não foi necessário a utilização dos dados da PCM do veículo. Também foi avaliado, o tempo que o veículo leva para fazer a recarga de sua bateria, utilizando apenas seu motor a combustão para efetuar esta recarga, portanto, com o veículo parado e o motor a combustão gerando eletricidade para a bateria do veículo.

Por fim, foi analisado o tempo que a bateria demora para descarregar no modo EV, em um ciclo similar ao de uma cidade, percorrendo um trajeto com curvas, paradas e trechos de aceleração, em uma velocidade variando de 0 a 40 km/h.

Posteriormente o veículo foi colocado em modo *later*. E nesta circunstância, foi feita a aquisição de dados do veículo, no mesmo percurso utilizado anteriormente. A aquisição de dados da potência fornecida pelo motor a combustão, corrente na bateria de alta tensão, posição do pedal de aceleração e velocidade do veículo, foram salvas pelo *software* INCA.

Esta seção de testes foi realizada na pista interna da empresa FORD para entender como o veículo se comporta ao tentar manter sua carga na bateria constante.

Com os dados do veículo em modo *later* coletados, o veículo foi posto novamente para se locomover no mesmo trajeto, porém, desta vez, em modo EV. Desta vez foi coletado o comportamento do veículo ao se locomover apenas com a energia provida da bateria de alta tensão.

O mesmo procedimento foi feito para o veículo em modo *charge*, para avaliar como o veículo se comporta ao se movimentar e carregar a bateria em simultaneamente.

5.1 Resultados dos testes da bateria.

A recarga da bateria de 0 a 100% mostrados no *display*, foi realizada em modo de carga lenta, em corrente alternada. A estação de recarga com conector tipo 2, levou 3 horas, 47 minutos e 42 segundos para fazer a recarga total da bateria e forneceu uma potência de 12,9 kWh para o veículo. Portanto, a estação de recarga operou em uma potência média

de:

$$P_{med} = \frac{Watts * hora}{hora} = \frac{12,9 * 10^3}{\left(3 + \frac{47}{60} + \frac{42}{60 * 60}\right)} \cong 3,4 kW \quad (5)$$

O conector tipo 2 transmite uma potência de até 3,7 kW em carga lenta CA, portanto, o conector não está operando em sua potência máxima de carga lenta, porém está fornecendo potência no valor esperado.

Sabe-se que quando a bateria apresenta 0% no display, na realidade apresenta 18% de carga em sua bateria, portanto, é possível calcular a capacidade da bateria com o seguinte cálculo.

$$\frac{P_{total}}{P_{fornecida}} = \frac{100\%}{(100 - 18)\%} \quad (6)$$

$$P_{total} = P_{parcial} * \frac{100}{(100 - 18)} = 12,9 * 10^3 * \frac{100}{(100 - 18)} = 15,73 kWh \quad (7)$$

Este cálculo foi feito, levando em conta que toda a potência fornecida pela estação de recarga, foi absorvida pela bateria, portanto, sem perdas durante o processo de transmissão de energia.

É possível verificar também que a capacidade da bateria do PHEV está no esperado para um veículo PHEV, de 5 a 20 kWh como apresentado na Tabela 1.

O teste seguinte, se baseou em manter o veículo parado e em modo *charge*, para avaliar como a bateria se comporta ao realizar a recarga, utilizando apenas o motor à combustão. Foi então verificado o tempo necessário para a bateria recarregar em 12,5% de sua carga, verificado com um relógio. Os dados obtidos estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempo de carga da bateria apenas com o motor a combustão.

Porcentagem de carga da bateria (%)	Tempo (minutos)
0	0
12,5	6
25	17
37,5	34
50	53
62,5	73
75	90

Fonte. Elaborada pelo autor

O veículo demorou uma hora e meia para recarregar 75% de sua bateria mostrada em *display*, utilizou-se 75% de bateria em seu *display* como referência, pois a lógica do

veículo limita o carregamento máximo da bateria em 75%, quando em modo *charge*.

Sabendo que para variar o ponteiro de 0 a 100% no *display*, é necessário 12,9 kWh, é possível obter a quantidade de carga fornecida para a bateria, ao ser recarregado até seus 75%. Na equação 8 apresenta-se a quantidade de carga fornecida pela bateria.

$$P_{fornecida} = P_{td} * D_{per} = 12,9 * 10^3 * 0,75 = 9,675 \text{ kWh} \quad (8)$$

Com a quantidade de carga fornecida, podemos calcular a potência média de recarga da bateria. Na equação 9 apresenta-se a potência média de recarga da bateria.

$$P_{medr} = \frac{\text{Watts} * \text{hora}}{\text{hora}} = \frac{9,675 * 10^3}{1,5} = 6,45 \text{ kW} \quad (9)$$

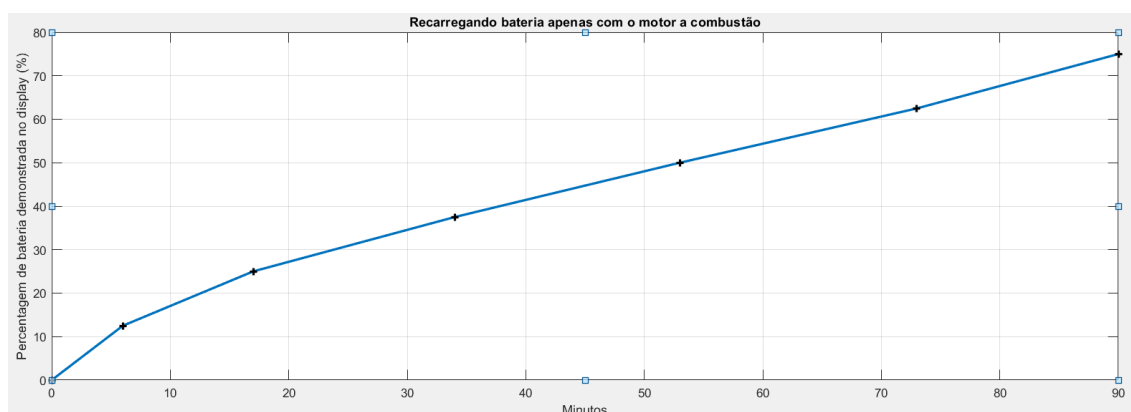
Também é possível calcular qual percentagem de recarga média da bateria no *display* por minuto, e sua recarga real por minuto. Nas equações 10 e 11, respectivamente, apresentam-se as equações de percentagem de recarga média da bateria em seu *display* e carga real.

$$\text{média de recarga no display} = \frac{\text{recarga efetuada}}{\text{tempo}} = \frac{75}{90} = 0,83\%/\text{min} \quad (10)$$

$$\text{média de recarga real} = \frac{\text{recarga efetuada}}{\text{tempo}} = \frac{\frac{\text{recarga parcial}}{P_{total}} * 100}{90} = \frac{\frac{9,675}{15,73} * 100}{90} = 0,68\%/\text{min} \quad (11)$$

Por fim, o gráfico da Figura 25 foi construído, com o objetivo de avaliar se a recarga da bateria, ocorre de forma aproximadamente linear.

Figura 25 – Carregando a bateria apenas com o motor a combustão.



Fonte. Elaborada pelo autor

É possível notar que o carregamento da bateria não ocorre de uma forma linear. A bateria recarrega de forma mais rápida quando está com pouca carga (0 a 25%), e de maneira mais lenta e linear no restante do tempo (carga maior que 25%).

O último teste com a bateria, baseou-se em circular com o veículo em um circuito que se assemelha um ciclo urbano. Foi então selecionado o modo EV e o veículo foi posto para percorrer em um trajeto que simula uma cidade, até sua bateria descarregar totalmente, ou seja, até o veículo ligar seu motor a combustão, mostrando assim, ter chegado em seu limite mínimo de bateria.

Com a bateria dando início em 50% mostrados no *display*, foram coletados o tempo, distância percorrida e a percentagem de bateria a cada intervalo de 25% de descarga de bateria. Com estes dados foi possível elaborar a Tabela 3.

Tabela 3 – Dados obtidos ao descarregar o veículo em circuito urbano.

Percentagem de carga da bateria (%)	Tempo (minutos)	Distância (km)
50	0	0
25	34	10,1
0	67	20,4

Fonte. Elaborada pelo autor

Nota-se que o veículo demorou 67 minutos para esvaziar totalmente sua bateria, portanto tem-se que com o veículo exercendo atividades em percursos urbanos, opera a uma potência média de 6,45 kWh, conforme apresentado na Equação 12.

$$P_{des} = 12,9 * 10^3 * 0,5 = 6,45 \text{ kWh} \quad (12)$$

$$P = \frac{\text{Watts} * \text{hora}}{\text{hora}} = \frac{6,45 * 10^3}{\frac{67}{60}} = 5,78 \text{ kW} \quad (13)$$

Também é possível calcular que a percentagem de descarga média da bateria no *display* por minuto, e sua descarga real por minuto. Conforme apresentado nas Equações 14 e 15.

$$\text{média de descarga no display} = \frac{\text{descarga efetuada}}{\text{tempo}} = \frac{50}{67} = 0,75\% / \text{min} \quad (14)$$

$$\text{média de descarga real} = \frac{\text{descarga efetuada}}{\text{tempo}} = \frac{\frac{\text{descarga parcial}}{P_{total}} * 100}{67} = \frac{\frac{6,45}{15,73} * 100}{67} = 0,61\% / \text{min} \quad (15)$$

O veículo percorreu uma distância de 20,4 km com 50% de bateria, o que mostra que o veículo utiliza cerca de 408 metro/% de bateria, conforme apresentado na Equação 16.

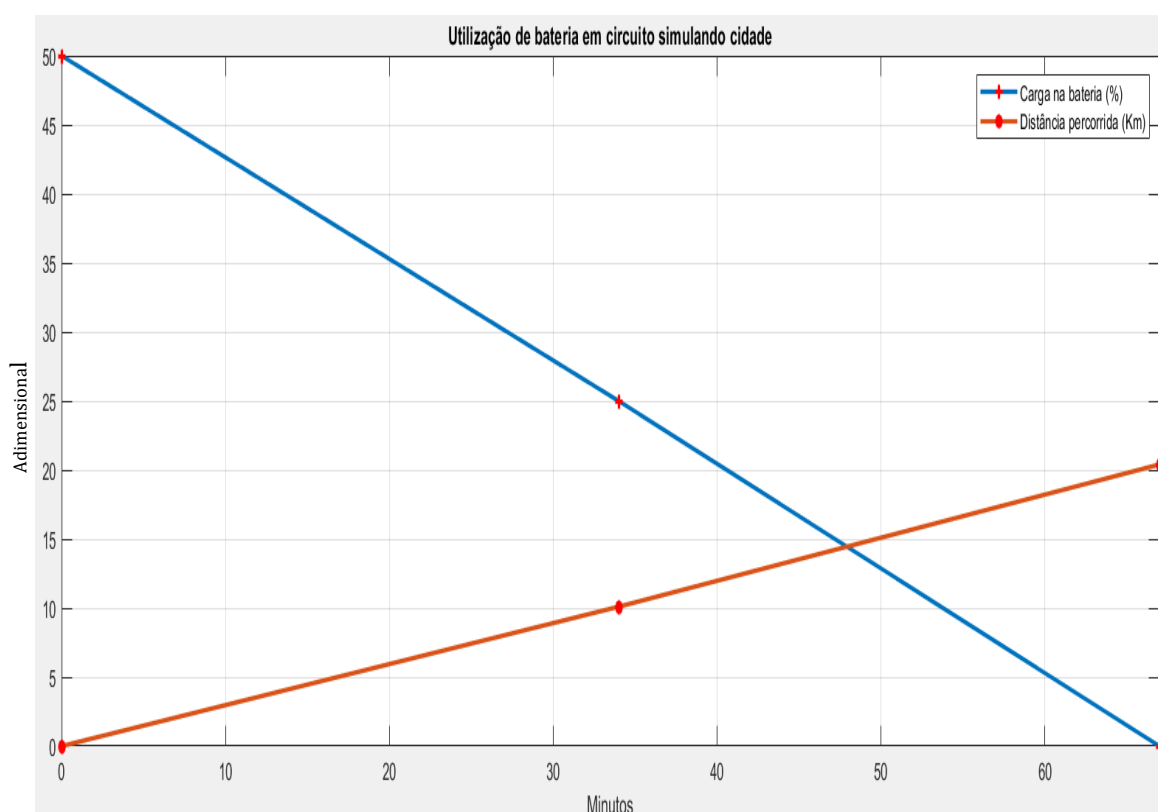
$$\frac{\text{metros}}{\text{Percentagem bateria}} = \frac{20,4 * 10^3}{50} = 408 \frac{\text{metros}}{\%} \quad (16)$$

Portanto, o veículo tem uma autonomia de 40,8 km com a bateria totalmente carregada em um percurso urbano, dirigindo a uma velocidade média de 18,27 Km/h, conforme apresentado na Equação 17.

$$V_{med} = \frac{20,4}{\frac{67}{60}} = 18,27 \frac{km}{h} \quad (17)$$

O gráfico apresentado na Figura 26 foi construído, com o objetivo de avaliar se a descarga da bateria, ocorre de forma aproximadamente linear,

Figura 26 – Descarga da bateria em ciclo urbano e modo EV.



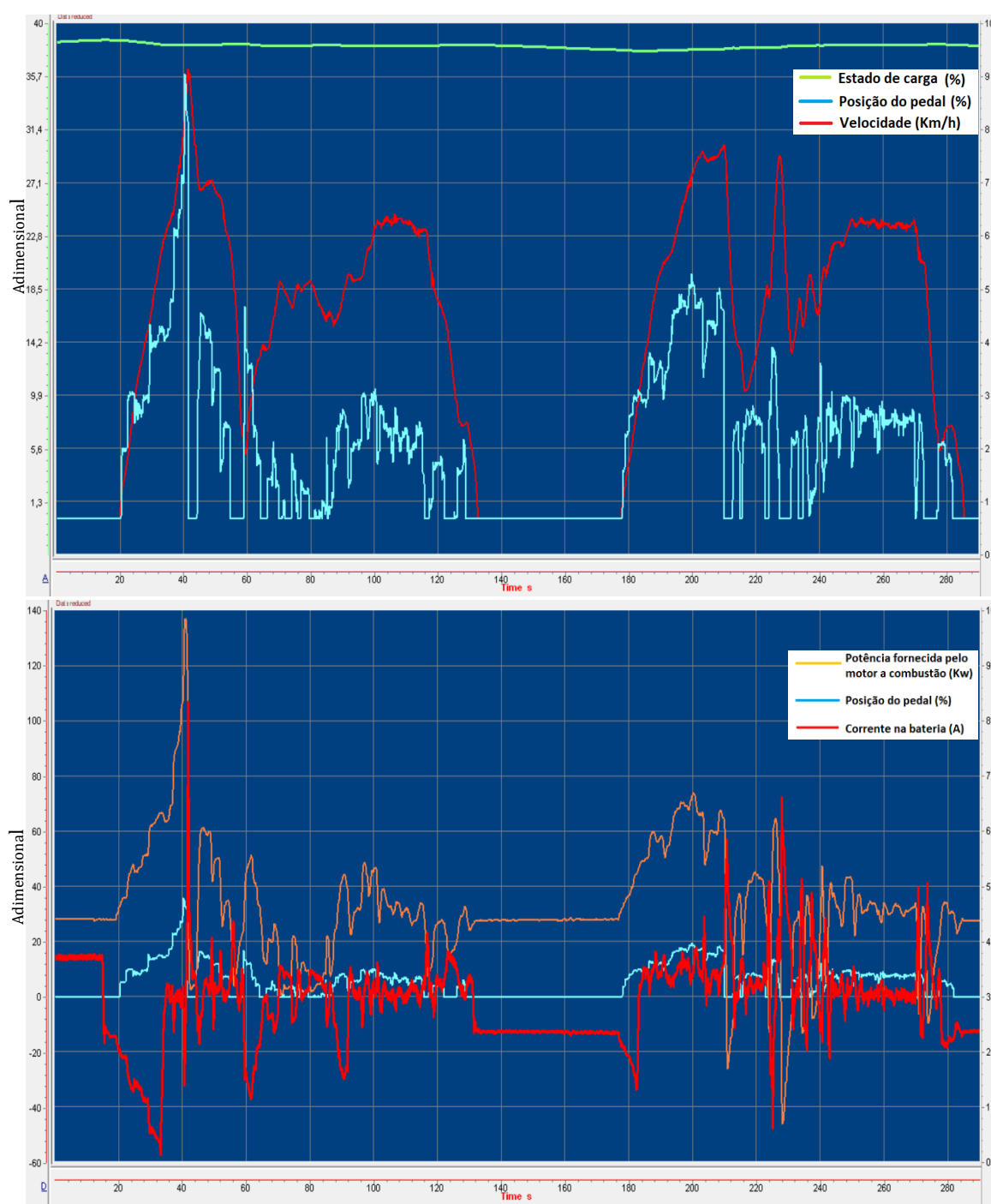
Fonte. Elaborada pelo autor

Diferente do que ocorre no carregamento da bateria, a descarga ocorreu de forma muito aproximada a um comportamento linear

5.2 Comportamento do veículo modo later.

Com o veículo no modo *later*, foi coletado os dados durante uma volta no percurso que simula trechos urbanos, no intuito de avaliar o comportamento do veículo ao tentar manter sua carga. Os dados obtidos são apresentados na Figura 27.

Figura 27 – Dados do modo *later* em percurso urbano.



Fonte. Elaborada pelo autor

Vale ressaltar que se trata de um veículo automático e os valores apresentados no eixo y, mostra valores reais, apenas para a posição do pedal, sendo 100% o pedal totalmente pressionado e 0% o pedal não pressionado, e para dados já apresentados no *cluster* do veículo, como a percentagem da bateria e velocidade. Dados como a potência fornecida pelo motor a combustão e corrente que transita pela bateria, não mostram seu valor real no eixo y por motivos de confidencialidade, visto que a empresa é sensível a exposição de determinados dados sobre seus veículos. Porém, suas formas de onda foram

mantidas as mesmas, e o zero do gráfico, é um valor real para todos os gráficos. Isto foi mantido para se conseguir um entendimento de como o veículo se comporta em seus diferentes modos.

O modo *later* e modo *auto*, apresentaram a mesma lógica de funcionamento, portanto neste capítulo, só foi exibido os dados coletados no modo *later*.

Tem-se que a corrente positiva, caracteriza corrente entrando na bateria, ou seja, recebendo carga do motor a combustão. Por sua vez, quando a corrente está negativa, caracteriza corrente saindo da bateria, ou seja, a bateria está fornecendo carga para o veículo.

É possível notar duas situações quando o veículo não está em movimento. A primeira situação ocorre de 0 a 18 segundos, onde o veículo aproveita o fato de estar parado para recarregar a bateria, e a outra situação, ocorre de 130 à 175 segundos, onde o veículo apesar de estar em repouso, consome carga da bateria de alta tensão para manter o funcionamento.

A característica que mais se destaca na operação em modo *later*, é a tendência da corrente sempre tentar se manter próxima de zero. Isso se mostra mais evidente próximo aos 34 segundos e 182 segundos.

Oberseva-se que apesar do veículo iniciar o movimento exigindo carga da bateria, após ganhar determinada velocidade, o motor a combustão começa a fornecer uma maior potência para o veículo, o que leva a corrente na bateria oscilar em torno de zero. Ao analisar os picos de corrente negativos, nota-se momentos onde existe uma elevação dos valores do gráfico do pedal, ou seja, quando o pedal é pisado com mais força.

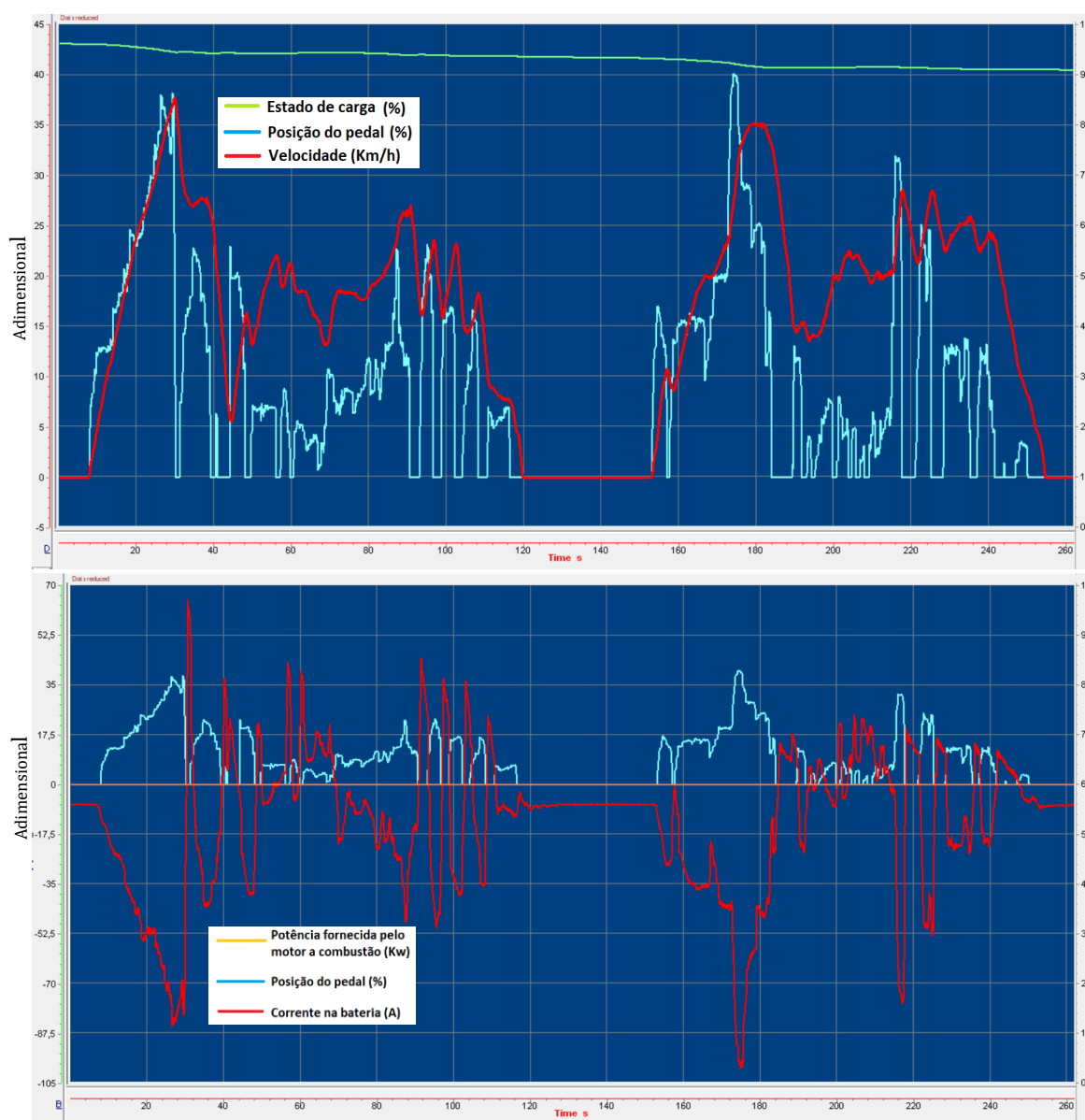
Por outro lado, analisando-se os picos positivos da corrente, nota-se a ocorrência principalmente em momentos de desaceleração do veículo, conseqüentemente, quando a demanda do pedal de aceleração vai para zero, porém o veículo está em movimento.

Fora estes dois momentos da bateria, é notável a tentativa do veículo manter a corrente oscilando em torno de zero, nos momentos em que o veículo adquiriu determinada velocidade inicial. Este controle para manter a corrente oscilando em torno de zero, ocorre devido ao motor a combustão, que fornece a corrente elétrica necessária para suprir a bateria elétrica.

Observando o comportamento da carga na bateria elétrica, é possível notar que fica oscilando em torno dos 38%, momento em que o modo *later* foi acionado. Para fazer este controle em torno dos 38%, em determinados momentos o motor a combustão atua fornecendo mais corrente do que a necessária para movimentar o veículo, carregando assim a bateria elétrica com a sobra desta potência, e em outros momentos atua fornecendo menos corrente que o necessário para movimentar o veículo, descarregando assim um pouco da bateria elétrica.

5.3 Comportamento do veículo modo *now*.

Foi percorrido o mesmo percurso, e analisados os mesmo parâmetros do veículo em seu modo *now*, os dados obtidos estão apresentados no gráfico da Figura 28,

Figura 28 – Dados do modo *now* em percurso urbano.

Fonte. Elaborada pelo autor

O comportamento do veículo no modo *now* é mais fácil para ser interpretado. Como o veículo se movimenta puramente por energia elétrica, a linha de potência do motor a combustão se torna uma constante igual a 0.

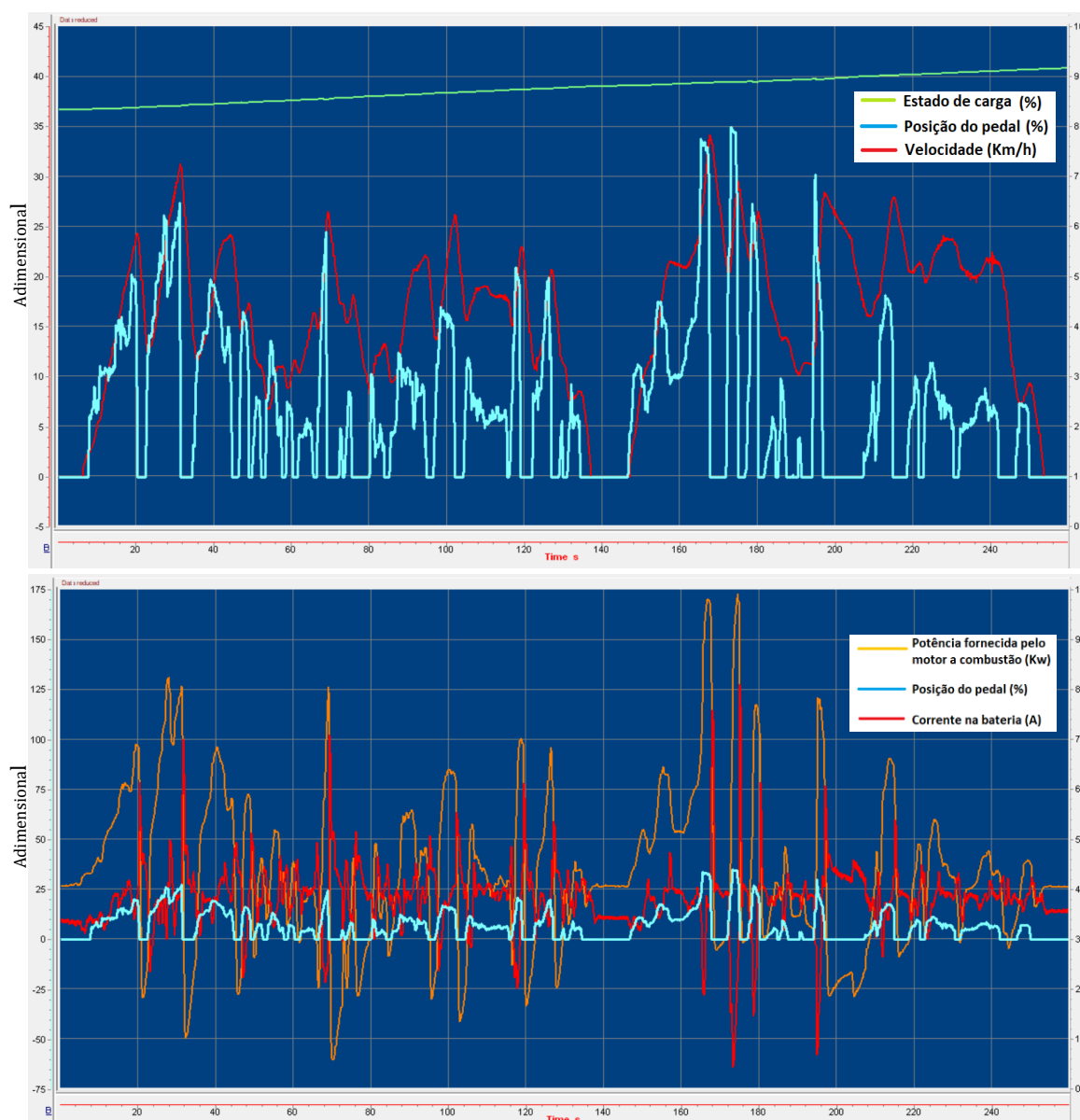
Ao comparar a posição do pedal com a corrente na bateria, nota-se que apresentam um comportamento basicamente inverso. Quanto maior a demanda de potência do motor por meio do pedal de aceleração, maior a corrente que é demandada da bateria. Assim que se deixa de pressionar o pedal de aceleração, os KERS entram em ação, dando pequenos picos de corrente positiva para a bateria, recarregando-a. Também pode-se notar por meio do gráfico da corrente, quais momentos o veículo se encontrou em uma descida. Estes momentos são caracterizados por uma recarga de bateria mais duradoura, como é notado com mais evidência entre 200 e 218 segundos.

Como era de se esperar, a carga na bateria tem uma tendência de queda ao dirigir-se no modo *now*. Esta queda se apresenta mais acentuada nos momentos que o veículo sai do repouso, e começa se movimentar, e menos acentuadas quando o veículo já está em movimento. Em pequenos trechos de descida, como o citado anteriormente, se vê uma pequena elevação de carga na bateria.

5.4 Comportamento do veículo modo charge.

O último experimento realizado, foi feito com o veículo em modo *charge*, coletando os mesmos dados, e realizando o mesmo percurso feito nos testes anteriores. Os dados obtidos são apresentados na Figura 29.

Figura 29 – Dados do modo *charge* em percurso urbano.



Fonte. Elaborada pelo autor

É possível notar que em momentos de desacelerações e descidas (200 a 210 segundos), a potência fornecida pelo motor a combustão se torna negativa. Este comportamento não é visto com tamanha frequência nos outros modos de operação, e a causa desta inversão de sinais na potência fornecida pelo motor é desconhecida.

Por meio de observações feitas durante a aquisição dos dados, pode-se afirmar que o motor a combustão não desligou em nenhum momento durante a aquisição, ou seja, mesmo quando a potência passa pelo ponto 0 do eixo y, ainda existe rotação no motor. Observando-se os gráficos, nota-se uma tendência da corrente a se manter sempre maior que zero. Dessa forma, conclui-se que mesmo com a potência fornecida pelo motor a combustão negativa, a potência ainda auxilia a recarga da bateria.

Comparando-se as linhas de potência fornecidas pelas aquisições do modo *charge* e *later*, é possível observar que no modo *later*, dos 20 aos 180 segundos, a bateria está descarregando, e durante este período, não ocorre nenhum pico de potência negativa. Entre 180 e 280 segundos, a bateria está carregando, e ocorre alguns picos de potência negativa. Isto leva a crer, que estes picos de potência negativa, são fundamentais para o veículo recarregar a bateria, enquanto em movimento.

Constatou-se que durante todo o trajeto em modo *late*, a bateria tende a ser recarregada.

6 CONCLUSÃO.

Observando-se as características de consumo da bateria do veículo PHEV em estudo, pode-se concluir que ao se utilizar o veículo em perímetro urbano, é fornecida uma autonomia de 40,8 km, ao se locomover em uma velocidade média de 18,27 km/h. Isso equivale à 2 horas e 14 minutos de locomoção de forma puramente elétrica.

Em contrapartida, o veículo demora cerca de 3 horas e 47 minutos para realizar uma recarga completa na bateria, utilizando-se um posto de recarga com conector tipo 2, no modo recarga lenta CA. Em uma situação onde o intuito é se locomover sem nunca acionar o motor a combustão, é possível se locomover 40,8 km a cada 6 horas aproximadamente, que totaliza 123,4 quilômetros por dia.

Também é possível concluir que o veículo recarrega a bateria de uma maneira mais veloz, permanecendo em repouso com modo *charge* ativo, do que recarregando por meio de um posto de recarga, com conector tipo 2 e em modo de recarga lenta CA.

Sabendo-se que em repouso e com o modo *charge* ativo, o veículo recupera 0,83% da bateria utilizável por minuto, tem-se então que o veículo demora aproximadamente 2 horas para fazer uma recarga completa na bateria no modo charge com o veículo parado. Este tempo representa quase a metade do tempo gasto para se fazer a recarga total da bateria em um posto de recarga.

Observando-se o comportamento do veículo em seus diferentes modos de aquisição, foi possível concluir que o veículo cumpre a proposta de cada um de seus modos. Em modo *later* o veículo passa a funcionar em uma lógica em que tenta manter o estado de carga atual constante. Apesar de não conseguir manter este estado de carga fixo no valor desejado, o veículo consegue manter o estado de carga em valores próximos ao estado de carga desejado, oscilando levemente em torno deste valor e alternando em momentos que o veículo está recarregando a bateria, e em momentos que o veículo está descarregando.

Foi observado que o veículo em modo *now* desliga o motor a combustão e funciona de modo completamente elétrico, recarregando a bateria apenas por meio do KERS.

Na aquisição realizada, foi possível verificar que o veículo descarregou 2,7% da bateria ao longo do trajeto urbano, ao longo de 260 segundos. Isso resulta em uma queda de carga na bateria de 0,62%/min. Cabe ressaltar que a percentagem da bateria representada na aquisição é a percentagem real de bateria. Pode-se concluir que a queda de carga de 0,62%/min, condiz com o resultado encontrado no teste de descarga de bateria que no caso apresentou uma descarga de 0,61%/min.

Com o veículo no modo charge, foi possível observar uma tendência de potência negativa no motor a combustão com mais frequência que em outros modos. Também foi possível verificar que a lógica do veículo funciona de modo a sempre deixar a corrente positiva recarregando a bateria.

Na aquisição realizada, o veículo recarregou 4,2% da bateria ao longo de 260 segundos. Isso resulta em uma recarga de bateria em torno de 0,97%/min. Pode-se então concluir, que com o veículo em movimento em perímetro urbano e em modo *charge*, a recarga da bateria é mais rápida do que quando parado (0,68%/min).

Por fim, pode-se afirmar que o veículo cumpre com o que promete em cada um de seus modos de operação. Uma análise dos dados apresentados, mostra que o veículo apresenta um consumo de 3,16 km/kWh, considerando o preço de R\$ 0.92 o kWh na CPFL Paulista, no ano de 2021 para tarifa residencial. Observa-se que o veículo consegue se mover em perímetros urbanos por um valor de 3,44 km/R\$. Cabe salientar que um veículo com motor 1.0, tem um consumo médio de 12,4 km/l de gasolina em perímetros urbanos. Portanto, para se igualar aos valores de quilômetros por Real, encontrados neste veículo PHEV, o preço da gasolina teria de estar no valor de R\$ 3,60 no ano de 2011.

REFERÊNCIAS

ALTERNATIVE FUELS DATA CENTER. How Do Fuel Cell Electric Vehicles Work Using Hydrogen (S.l.). *U.S DEPARTMENT OF ENERGY*, 2022. Disponível em. <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>. Acesso em. 24 mai. 2022

AUTO ESPORTE. Inmetro divulga ranking de consumo de combustível de carros ano 2015 (S.l.). G1, 2015. Disponível em. <https://g1.globo.com/carros/noticia/2014/01/veja-carros-que-consomem-menos-e-mais-segundo-lista-do-inmetro.html>. Acesso em. 26 mai. 2022

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. Texto para Discussão. Mobilidade Urbana Sustentável. Conceitos, Tendências e Reflexões. Brasília. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2016.

JINMING LIU, Huei Peng. Modeling and Control of a Power-Split Hybrid Vehicle. In. Control Systems Technology, IEEE Transactions on, dez, 2008.

NEOCHARGE. Carros elétricos. (S.l.). NEOCHARGE, 2021. Disponível em. <https://www.NEOCHARGE.com.br/tudo-sobre/carregador-carro-eletrico/tipo-conector-veiculo-eletrico#artigos>. Acesso em. 09 mai. 2022.

NGSOLAR. Preço da energia elétrica CPFL 2022. (S.l.). NgSolar, 2022. Disponível em. <https://www.ngsolar.com.br/single-post/preco-kwh-cpfl> Acesso em. 26 mai. 2022.

ORNELLAS, Regina. Impactos do Consumo Colaborativo de Veículos Elétricos na Cidade de São Paulo. Future Studies Research Journal. São Paulo, v.5, n.1, pp. 33 – 62, 2013.

PUPO, A. Silveira. Análise de Possibilidades para a Introdução de Veículos Elétricos no Tráfego Urbano da Cidade de São Paulo. Uma Abordagem por Meio da Análise Morfológica. Future Studies Research Journal. São Paulo, v.4, n.21, pp. 03 – 20, 2012.

ROYMECH. Epicyclic Gears. (S.l.). Roymech, 2021. Disponível em. http://www.roymech.co.uk/drive/epi_cyclic_gears.php. Acesso em. 09 mai. 2022.

WADE A, Deshpande L, Randall R, Huaizhong Li. Gear diagnostics in a planetary gearbox. In. International Journal of Condition Monitoring, out, 2013.