



Universidade de Brasília
Faculdade do Gama
Engenharia Automotiva
Graduação em Engenharia Automotiva

TÚLIO COSTA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA TECNOLOGIA EMPREGADA EM
VEÍCULOS ELÉTRICOS COM AUTONOMIA ESTENDIDA:
COMPARATIVO EXPERIMENTAL COM VEÍCULOS
HÍBRIDOS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Brasília

2018

TÚLIO COSTA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA TECNOLOGIA EMPREGADA EM
VEÍCULOS ELÉTRICOS COM AUTONOMIA ESTENDIDA:
COMPARATIVO EXPERIMENTAL COM VEÍCULOS
HÍBRIDOS.**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva.

Orientador: Fábio Cordeiro de Lisboa

Brasília
2018

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Oliveira, Túlio Costa de.

ESTUDO DA TECNOLOGIA EMPREGADA EM
VEÍCULOS ELÉTRICOS COM AUTONOMIA
ESTENDIDA: COMPARATIVO EXPERIMENTAL COM
VEICULOS HÍBRIDOS / Túlio Costa de Oliveira. Brasília:
UnB, 2018. 103 p.: il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2018. Orientação: Fábio Cordeiro
de Lisboa.

1. Veículos híbridos elétricos. 2. Análise de gases. 3. consumo
específico. 3 I. Lisboa, Fábio Cordeiro. II. Doutor.

CDU Classificação



**ESTUDO DA TECNOLOGIA EMPREGADA EM VEÍCULOS ELÉTRICOS COM
AUTONOMIA ESTENDIDA: COMPARATIVO EXPERIMENTAL COM
VEÍCULOS HÍBRIDOS.**

Túlio Costa de Oliveira

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação 06/07/2018) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. (Doutor): Fábio Cordeiro de Lisboa, UnB/ FGA
orientador

Prof. (Doutor): Alessandro Borges Sousa Oliveira, UnB/ FGA
membro convidado

Prof. (Mestre): Saleh Barbosa Khalil, UnB/ FGA
membro convidado

Brasília, DF
2018

Dedico este projeto ao professor Fábio Cordeiro, por seu companheirismo, pela sua paciência, conselhos e ensinamentos que foram essenciais para o desenvolvimento do TCC, à minha grande amiga e parceira Laura, que pacientemente me guiou, apoiou, incentivou, e ficou sempre ao meu lado para que enfrentássemos tudo juntos, e a minha mãe Marília, meu pai Whigney que fizeram tudo o possível e o impossível entre pedras e barrancos, para que eu me tornasse o que sou hoje, aos meus irmãos Gabriel e Leonardo que com muita competência souberam me aconselhar e me ajudar sempre que precisei e ao meu filho Murilo que me enche de alegria todos os meus dias com a inocência que só uma criança consegue ter.

“Apaixone-se pelo seu trabalho, embriague-se de serviço útil. Somente assim, atenderemos à nossa edificação eterna” (Nosso Lar).

Resumo

Os veículos híbridos resurgem como solução para diminuição de emissão de gases poluentes provenientes dos veículos movidos a motores de combustão interna. Dessa forma, o presente trabalho visa comparar dados referentes à emissão de gases e consumo de combustível e energia de dois veículos: Toyota Prius e um Carro de golfe convertido a elétrico com autonomia estendida, ou híbrido série. A metodologia utilizada para coleta de dados será baseada na NBR 16567/2016 – Veículos rodoviários híbridos elétricos leves – Medição de emissão de escapamento e consumo de combustível e energia – Métodos de ensaio e, anterior a esta, realizada revisão bibliográfica sobre os motores a combustão interna atualmente utilizados e os motores híbridos e de autonomia estendida. A tecnologia de veículos híbridos apresenta-se como primeiro passo para a transição na utilização de veículos puramente elétricos devido a baixa autonomia das baterias utilizadas. Dessa forma, o presente trabalho limitou-se apenas ao estudo da tecnologia de veículos híbridos e elétricos, pretendendo para o segundo trabalho de conclusão de curso apresentar resultados referentes aos objetivos propostos.

Pavras-chave: Veículos híbridos elétricos. Análise de gases. Consumo específico.

Abstract

Hybrid vehicles are used as a solution to reduce the emission of polluting gases from vehicles powered by internal combustion engines. Thus, the present work aims to compare data referring to the emission of gases and consumption of fuel and energy of two vehicles: Toyota Prius and a golfe car converted to electric with extended autonomy, or hybrid series. The methodology used for data collection will be based on NBR 16567/2016 - Light electric hybrid road vehicles - Measurement of exhaust emission and fuel and energy consumption - Test methods and, prior to this, a literature review on combustion engines currently used and hybrid and extended range engines. Hybrid vehicle technology presents itself as the first step in the transition in the use of pure electric vehicles due to the low autonomy of the batteries used. Thus, the present work was limited to the study of hybrid and electric vehicle technology, and the second work of course completion was to present results regarding the proposed objectives.

Pavras-chave: Hybrid electric vehicles. Gas analysis. Specific consumption.

Lista de ilustrações

Figura 1 – (a) Honda Insight; (b) Ford Fusion Hybrid	19
Figura 2 – Híbrido completo (Toyota Prius)	20
Figura 3 – Componentes do motor a combustão interna com ignição comandada	21
Figura 4 – Diagramas P-v e T-S para o Ciclo Otto	23
Figura 5 – Descrição dos 4 tempos do motor de ciclo otto	23
Figura 6 – Descrição dos 4 tempos do motor de ciclo Diesel	24
Figura 7 – Diagramas P-v e T-S para o Ciclo Diesel	25
Figura 8 – Diagramas P-v e T-S para o Ciclo Miller	26
Figura 9 – Mecanismo para ciclo sobre-expandido	27
Figura 10 – Diagramas P-v e T-S para o Ciclo Atkinson	28
Figura 11 – Comparação entre rendimentos dos ciclos teóricos	31
Figura 12 – Motor DC	33
Figura 13 – Motor Síncrono	33
Figura 14 – Motor elétrico de indução.	34
Figura 15 – Motor de Relutância variável quatro polos	35
Figura 16 – Peso e dimeção pela quantidade de energia	40
Figura 17 – Diagrama para diferentes configurações de VHEs Diagrama para diferentes configurações de VHEs	41
Figura 18 – (a) Honda Insight; (b) Ford Fusion Hybrid	41
Figura 19 – VHE Paralelo	42
Figura 20 – Veículo Híbrido série (BMW I3)	43
Figura 21 – VHE Série	43
Figura 22 – VHE Série-Paralelo	44
Figura 23 – Sistema de planetárias	45
Figura 24 – Toyota Prius	45
Figura 25 – Toyota Prius	48
Figura 26 – Veículo elétrico (carro de golfe)	49
Figura 27 – Motor-gerador 2 tempos	50
Figura 28 – Dinamometro de rolo Dynamite	52
Figura 29 – Scanner Automotivo ELM 32	52
Figura 30 – Carro de golfe sendo guinchado	53
Figura 31 – Baterias Originais, sem possibilidade de recuperação	53
Figura 32 – Contaminação do pistão no cilindro de freio	54
Figura 33 – Curva de torque e potência Toyota Prius.	56
Figura 34 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 9)	68
Figura 35 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 10)	69
Figura 36 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 11)	70

Figura 37 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 12)	71
Figura 38 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 13)	72
Figura 39 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 14)	73
Figura 40 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 15)	74
Figura 41 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 16)	75
Figura 42 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 17)	76
Figura 43 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 18)	77
Figura 44 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 19)	78
Figura 45 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 20)	79
Figura 46 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 21)	80
Figura 47 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 22)	81
Figura 48 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 23)	82
Figura 49 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 24)	83
Figura 50 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 25)	84
Figura 51 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 26)	85
Figura 52 – Norma ABNT NBR 16567:2016 (Página 27)	86

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Curvas de potência, torque e consumo específico do Toyota Prius.	55
Gráfico 2 – Dados de potência carro de golf	57
Gráfico 3 – Potência fornecida pelo carregador em diferentes posições do pedal do acelerador.	58

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparativo entre diferentes tipos de motores elétricos	35
Tabela 2 – Comparativo das baterias	38
Tabela 3 – Comparativo para as configurações de VHEs	46
Tabela 4 – Dados motor Toyota Prius	48
Tabela 5 – Dados carro de golfe	49
Tabela 6 – Dado gerador Motomil MG-950	50
Tabela 7 – Dados de consumo realizado no carro de golfe	59
Tabela 8 – Dados para cálculos comparativos	60
Tabela 9 – Dados comparativos dos motores	61

Sumário

1	Introdução	14
1.1	JUSTIFICATIVAS	15
1.2	OBJETIVO GERAL	16
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO	16
2	Revisão da Literatura	18
2.1	VEÍCULO HÍBRIDO ELÉTRICO	18
2.1.1	Motores a combustão interna	20
2.1.1.1	Ciclo Otto	22
2.1.1.2	Ciclo Diesel	24
2.1.1.3	Ciclo Miller	25
2.1.1.4	Ciclo Atkinson	27
2.1.1.5	Rendimentos	28
2.1.1.6	Breve comparativo entre os motores a combustão interna	31
2.1.2	Motores elétricos	32
2.1.2.1	Motores de corrente contínua	32
2.1.2.2	Motores síncronos	33
2.1.2.3	Motores de indução	34
2.1.2.4	Motores de relutância variável	34
2.1.2.5	Breve comparação dos motores elétricos	35
2.1.3	Baterias	36
2.1.3.1	Baterias de Chumbo-Ácido	36
2.1.3.2	Baterias de Níquel-Cádmio	37
2.1.3.3	Bateria de Níquel-Metal-Hidreto	37
2.1.3.4	Bateria de Lítio	37
2.1.3.5	Bateria de Lítio-Polímero	38
2.1.3.6	Breve comparativo entre baterias	38
2.1.4	Configurações de VHEs	40
2.1.4.1	Híbrido paralelo	41
2.1.4.2	Híbrido série (elétrico com extensor de autonomia)	42
2.1.4.3	Híbrido série-paralelo	44
2.1.4.4	Breve comparativo entre diferentes configurações	45
3	Materiais e Métodos	47
3.1	Veículo originalmente Híbrido série-paralelo	47
3.2	Veículo convertido para híbrido série	49
3.2.1	Gerador	50

3.3	Materiais para análise	51
3.3.1	Dinamômetro	51
3.3.2	Scanner automotivo	52
4	Resultado e discussão	53
4.1	Comparativo dos veículos	59
5	Conclusão	63
6	Trabalhos futuros	64
	Referências	65
	ANEXOS	67

1 Introdução

A tecnologia dos veículos híbridos (VHE) e elétricos (VE) vem desde os anos 1880 acompanhando, segundo Baran e Legey (2011), os avanços tecnológicos referentes às baterias, não representando, assim, uma inovação tecnológica recente. Os VHEs mantêm o mesmo princípio de funcionamento desde a sua criação, porém, com os avanços tecnológicos recentemente alcançados, como a bateria de lítio e a tecnologia digital, é possível tornar estes veículos híbridos e elétricos cada vez mais eficientes.

Em 1912, os veículos elétricos e híbridos atingiram seu ápice, com mais de 30 mil unidades registradas em Nova Iorque, tornando-se fortes concorrentes dos veículos de combustão interna (VCI). Desde então, o declínio dos VHEs e dos VE se deu por três fortes motivos:(BARAN; LEGEY, 2011)

- Henry Ford desenvolveu um sistema de produção tão eficiente que os VHEs e os VEs se tornaram duas vezes mais caros que os VCI;
- a partida elétrica fez com que não se precisasse mais de manivela para dar partida no VCI;
- em 1920, as rodovias passaram a interligar as diversas cidades dos Estados Unidos da América, contudo os VHEs e os VEs não conseguiam percorrer maiores distâncias por conta da baixa eficiência das baterias.

Os VHE e VE voltaram a atrair a indústria na década de 1960, quando a opinião pública começou a questionar problemas ambientais gerados pelos gases de escape dos VCI, e em 1973, quando embargos sobre produtos do petróleo geraram a crise do petróleo. Assim, a busca por energias renováveis chama a atenção novamente do setor automotivo.(BARAN; LEGEY, 2011)

Os fatos se sucederam da seguinte forma:(BARAN; LEGEY, 2011)

- Em 1990, normas para zero emissão foram implementadas na Califórnia.
- Em 1992, a União Europeia definiu uma estratégia para a mobilidade sustentável como política.
- Em 1991, indústria contra os VHEs e VEs faziam alegações de que o custo de venda dos veículos seriam muito caro e questionavam ambientalmente o uso de chumbo nas baterias.
- Em 1992, sucessivos financiamentos de empresas de combustível para campanhas políticas, faziam com que não houvessem incentivos para os VHEs e VEs.

- Em 1993, criou-se a iniciativa “Partnership for a New Generation Vehicles” (PNGV), com o objetivo de desenvolver um veículo que consumia quatro litros de combustível para cada 100 km rodados.
- Em 1997, o Toyota Prius, um veículo sedã híbrido de quatro portas, é lançado no Japão.
- Ainda em 1997, a Audi lança o primeiro híbrido no mercado europeu, o veículo Duo.
- Em 1999, a Honda lança o Insight no mercado americano.
- Em 2000, o veículo Prius chega no continente americano.
- Em 2003, a Honda lança o Civic híbrido.
- Em 2004, a Ford lança o Escape, um veículo utilitário esportivo híbrido.
- Em 2007, o projeto Energy Independence and Security Act, destinou US\$ 95 milhões anuais, entre os anos de 2008 e 2013, à pesquisa e ao desenvolvimento de um sistema de transporte elétrico.
- Em 2009, as vendas de híbridos no mundo atingiram 598 739 unidades.

O presente trabalho de conclusão de curso propõe-se a fazer a conversão de um carro de golfe elétrico a híbrido série e posteriormente fazer análises comparativas em relação ao Toyota Prius – carro híbrido série-paralelo original de fábrica, baseadas na norma brasileira (NBR) 16567/2016 – Veículos rodoviários híbridos elétricos leves – Medição de emissão de escapamento e consumo de combustível e energia – Métodos de ensaio.

1.1 JUSTIFICATIVAS

Segundo projeções feitas por, (BARAN; LEGEY, 2011), em 2030, considerando uma renda de quinze mil e novecentos reais *por cabeça e uma população de duzentos e vinte e dois milhões de habitantes*, a frota nacional será a quinta maior do mundo, com oitenta e quatro milhões de automóveis. Hoje o Brasil está em crescimento econômico acelerado. Com este crescimento, a demanda por energia cresce com o aumento do número de veículos no Brasil. Assim, o uso da eletricidade no setor de transportes se torna uma interessante alternativa aos combustíveis utilizados atualmente, tanto estrategicamente quanto ambientalmente.

Estrategicamente, haveria uma maior variação de fontes energéticas para o setor de transportes. Os veículos poderiam fornecer energia ao sistema nos horários de pico e recarregar nos horários de baixa demanda

Já ambientalmente, mesmo que oitenta e cinco por cento da energia elétrica gerada no Brasil venham de fontes renováveis, as instalações de hidrelétricas geram impactos ambientais, sociais e econômicos, a região implementada. Contudo, reduz-se o uso de combustíveis de origem fóssil e de motores a combustão interna, uma importante fonte emissora de gases de efeito estufa. Contribuiu-se também para o aumento da eficiência energética, tendo em vista que o motor elétrico é de duas a quatro vezes mais eficiente que o motor de combustão interna.

Ainda no âmbito ambiental, inúmeros países ao redor do mundo começam a discutir propostas para o fim da comercialização de carros movidos a combustível fóssil. Países como Índia, China, Estados Unidos da América, Brasil, França, Reino Unido, Áustria, Noruega, Holanda e Alemanha. Algum destes países ainda não colocaram um prazo final, porém outro já estipularam uma data para a cessão desta comercialização, França e Reino Unido em 2040, Áustria em 2020, Noruega em 2025 e Holanda em 2030. No Brasil, está sendo elaborado uma política industrial chamada de “Rota 2030”, onde prevê incentivos fiscais para veículos elétricos. (FERNANDES, 20 de novembro de 2017)

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é, além de converter um veículo elétrico a híbrido, analisar, de forma comparada, o desempenho de dois Veículos: (a) um veículo originalmente elétrico e que foi convertido para um sistema híbrido série com um motor elétrico como propulsor e um motor a combustão como gerador e (b) um carro híbrido série-paralelo que conta tanto com o motor elétrico quanto com o motor a combustão para integrar sua propulsão. Essa análise tem como fim a realização de ensaios comparativos com o Toyota Prius – carro híbrido original de fábrica que foi cedido para a UNB Gama através de comodato.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- estudar sobre as características, as vantagens e as desvantagens dos sistemas que envolvem os veículos híbridos;
- discutir a compreensão básica de motores a combustão interna (MCI) e seus diferentes ciclos termodinâmicos e rendimentos;
- discutir a compreensão básica de motores elétricos de Corrente contínua (CC), de indução (PM), síncronos (PM) e de relutância variável (SEM);

- estudar as tecnologias das diferentes baterias implementadas como armazenadoras de energia;
- aplicar nos veículos a norma que rege os ensaios de veículos híbridos (NBR 16567/2016 – Veículos rodoviários híbridos elétricos leves – Medição de emissão de escapamento e consumo de combustível e energia – Métodos de ensaio) para obter valores do consumo específico e fazer a análise dos gases de escape;
- identificar e implementar fatores críticos de sucesso para a conversão;
- medir dados de desempenho do Toyota Prius (híbrido série-paralelo) e do veículo adaptado a híbrido série, para fins de comparação.

2 Revisão da Literatura

2.1 VEÍCULO HÍBRIDO ELÉTRICO

Os veículos híbridos elétricos (VHE) foram desenvolvidos a partir de uma demanda por maior autonomia das baterias em carros puramente elétricos, de forma que o hibridismo elétrico é uma resposta à atual demanda apresentada pelo mercado e um passo às futuras tecnologias para o desenvolvimento de veículos puramente elétricos. O VHE utiliza duas ou mais fontes diferentes de energia, sendo que uma delas é a de motores a combustão interna, a mais utilizada para fazer o hibridismo com os motores elétricos. (DIAS, 2013; MAGALHÃES, 2014)

Entre os componentes que fazem parte dos veículos híbridos elétricos, estão o motor a combustão interna, o motor elétrico e as baterias. O MCI funciona tanto como propulsor do veículo, quanto para recarregar as baterias. Já o motor elétrico, juntamente ao MCI, realiza a propulsão do veículo. Este sistema tem por objetivo reduzir os gases poluentes provenientes da combustão incompleta que são liberados pelo escapamento, bem como reduzir o consumo de combustível e melhorar a eficiência do sistema. Para que o carro tenha autonomia, são acopladas baterias ao sistema, formando um sistema de armazenagem de carga ao motor elétrico. (MAGALHÃES, 2014)

Os motores utilizados nos VHEs podem apresentar funcionalidades diferentes dentro do projeto, sendo cada uma delas dada pelo requisito de projeto. Essas funcionalidades podem ser ganho de potência total, melhora do rendimento do motor a combustão interna, aumento da autonomia do veículo e diminuição da emissão dos gases poluentes, entre outros. (DIAS, 2013)

Um fator importante a ser observado, portanto, é o nível de potência requerido por um veículo. Este varia muito durante o período de seu funcionamento real, ou seja, percurso dentro ou fora da cidade, devido aos vários momentos de aceleração, desaceleração, subidas e descidas. Na prática, é possível dividir a potência requerida em dois níveis: a potência média (que terá um valor constante) e a potência dinâmica. Em um veículo híbrido, uma fonte de energia irá favorecer o requerimento de potência média (motor de combustão interna) e outra fonte de energia irá favorecer a potência dinâmica (motor elétrico). (DIAS, 2013)

Outro tópico importante a ser discutido, e que caracteriza o veículo híbrido, é o Fator de Hibridização (HF). Este fator classifica os veículos de acordo com a porcentagem de potência que o motor elétrico fornece à tração do veículo em relação à potência total do veículo. A classificação também analisa a função do motor elétrico no veículo. (DIAS, 2013)

$$HF = \frac{P_{em}}{P_{em} + P_{ICE}} \quad (2.1)$$

Onde:

P_{em} = potência máxima do motor elétrico responsável pela tração.

P_{ICE} = potência máxima do motor de combustão interna responsável pela tração.

Dessa forma, quando o valor de HF for igual a zero, não haverá intervenção do motor elétrico no veículo. Quando HF for igual a um, poder-se dizer que o veículo utiliza o motor elétrico como única fonte de tração. (DIAS, 2013)

O hibridismo, no que lhe concerne, pode ser classificado em mais outros três níveis, além dos mencionados anteriormente: micro-híbrido, híbrido médio e híbrido completo. (DIAS, 2013)

O veículo micro-híbrido, como o Citroën C3 híbrido, apresenta uma economia de combustível de 5 a 10% e, para que essa economia seja atingida, normalmente se utilizam motores de 2,5 kW tanto para a realização do Start and Stop quanto para alternador do veículo. (MAGALHÃES, 2014)

Já o híbrido médio, como o Ford Fusion 2012 e o Honda Insight 2010, Figura 1 deve economizar de 20 a 30% de combustível. Nesta classificação, os motores elétricos possuem uma potência de cerca de 10 a 20 kW para ajudar na tração do veículo. (MAGALHÃES, 2014)



Figura 1 – (a) Honda Insight; (b) Ford Fusion Hybrid

jalopnik, 2009

Para os veículos classificados como híbridos completos como por exemplo o Toyota Prius Figura 3, almeja-se uma redução do consumo de combustível na ordem

de 40% ou mais, com motores elétricos com potência de cerca de 50 kW fazendo parte da propulsão do veículo. (MAGALHÃES, 2014)



Figura 2 – Híbrido completo (Toyota Prius)

Motortrend, 2018

Recentemente, a SAE (Society of Automotive Engineers), organização internacional de maior referência quanto a padrões e normas nos setores automotivo e aeroespacial, realizou alterações quanto à denominação dos VHEs. Um veículo híbrido série, por exemplo, cujo motor a combustão não é responsável pela tração do veículo, é denominado “veículo elétrico com extensor de autonomia”. Dessa forma, limitam-se a híbridos apenas os veículos com as configurações de “veículos híbridos elétricos paralelos” e “veículos híbridos elétricos série-paralelos”¹. (MAGALHÃES, 2014; DIAS, 2013)

Nos tópicos seguintes, serão explanados os possíveis ciclos termodinâmicos que regem o funcionamento do motor a combustão interna, assim como as possíveis configurações dos motores elétricos e as diferentes baterias que podem ser utilizadas nos VHEs.

2.1.1 Motores a combustão interna

Utilizado em inúmeras aplicações, o motor a combustão interna é uma máquina térmica inventada no século XIX que transforma energia térmica em energia mecânica. Na atualidade, segundo Martins (2006), existem muitas tecnologias que superam estes motores em relação a rendimento, como, por exemplo, os motores elétricos.

As máquinas térmicas, a partir de uma reação de combustão, transformam a energia térmica em energia mecânica. Esta reação é composta de, pelo menos, um comburente, o ar, e um combustível, como a gasolina ou o óleo diesel, por exemplo. Por

¹ As características dos veículos híbridos mencionados serão apresentadas e discutidas nos capítulos seguintes

consequente, ocorre uma expansão de fluidos causada por esta reação, o que ocasiona uma variação de pressão e volume e fornecendo trabalho às partes móveis do motor. (MARTINS, 2006)

A partir da expansão de fluidos acima apontada, é possível, então, classificar o motor como uma máquina volumétrica. Segundo Martins (2006), as máquinas volumétricas podem ser classificadas como rotativas ou alternativas. O presente trabalho discorrerá apenas sobre as máquinas térmicas de combustão interna volumétricas alternativas.

A expansão dos gases na reação de combustão ocorre dentro de uma câmara cilíndrica, composta por um pistão, um cabeçote e uma camisa de cilindro. Pelo fato de haver um pistão na câmara cilíndrica, esse sistema torna-se variável em relação ao volume e à pressão internos, e, então, exerce trabalho sobre o pistão acoplado a um sistema biela-manivela. Esse sistema é um mecanismo responsável por transformar movimento circular em um movimento de translação. Segundo Bacon (1942), nas máquinas térmicas de combustão interna volumétricas alternativas, o movimento linear dos pistões gerado pela expansão dos fluidos dentro da câmara é transmitido para a biela, que gira em um movimento circular sobre o eixo de manivela.



Figura 3 – Componentes do motor a combustão interna com ignição comandada
Mundoeducação, 2018

Outro fator que caracteriza os motores a combustão interna são os seus respectivos rendimentos como o rendimento mecânico, o rendimento de combustão, os rendimentos inerentes, o rendimento teórico entre outros que juntos expressam o rendimento global do sistema.

Diante do exposto, o tópico a seguir apresentará brevemente os ciclos termodinâmicos comumente utilizados, que são Otto, Diesel, Miller e Atkinson, assim como os seus respectivos rendimentos.

2.1.1.1 Ciclo Otto

O ciclo Otto figura 5 foi inicialmente proposto por Nikolaus Otto. Em 1862, Alphonse Beau de Rochas definiu que, com quatro eventos, seria possível descrever o motor em sua eficiência máxima. A construção do primeiro MCI foi feita por Otto em 1872, e serviu para testes e experimentos. Em 1876, a empresa alemã Otto und Langen passou a fabricar os motores que eram regidos pelo ciclo que ficou conhecido como ciclo Otto. (MILHOR, 2002)

O estudo dos ciclos reais torna-se difícil pela variação da composição durante os processos e pela complexidade dos próprios processos. Segundo Brunetti (2012), para o estudo dos ciclos termodinâmicos associa-se a cada ciclo real um ciclo-padrão, dentro de algumas hipóteses simplificadoras:

- 1 – O fluido ativo é ar puro.
- 2 – O ar é um gás perfeito, ideal.
- 3 – Não há admissão nem escape. Essa hipótese permite a utilização da Primeira Lei da Termodinâmica para sistemas em lugar da Primeira Lei para Volume de Controle.
- 4 – Os processos de compressão e expansão são isoentrópicos – ou seja, adiabáticos e reversíveis.
- 5 – A combustão é substituída por um fornecimento de calor ao ar a partir de uma fonte quente. Esse fornecimento de calor poderá ocorrer em um processo isocórico, em um processo isobárico ou em uma combinação desses dois processos, a depender do ciclo.
- 6 – Para o ciclo voltar às condições iniciais, o calor será retirado por uma fonte fria, em um processo isocórico.
- 7 – Todos os processos são considerados reversíveis.

Adotando as hipóteses apresentadas na seção 2.1.1, consegue-se representar o ciclo Otto de forma ideal com os diagramas p-V e T-S. Segundo Brunetti (2012), ao se eliminar a admissão e o escape, o ciclo se compõe de quatro processos.

- 1-2: Compressão isoentrópica: No diagrama p-V, a área abaixo da curva 1-2 representa o trabalho de compressão. Já no diagrama T-S, a área representada abaixo da curva 1-2 é proporcional ao calor trocado, que, neste caso, é zero, de acordo com as hipóteses anteriormente apresentadas.
- 2-3: Fornecimento de calor: este ponto representa a ignição do combustível. Quando o pistão se encontra no ponto morto superior, a pressão aumenta instantaneamente, sem variação de volume, por consequência do calor liberado

na reação. No diagrama T-S, a área abaixo da curva 2-3 representa o calor fornecido ao sistema.

- 3-4: Expansão isoentrópica: No diagrama p-V ocorre um trabalho positivo representado pela área abaixo da curva 3-4.
- 4-1: Retirada do calor: Para fechar o ciclo, na curva 4-1, ao abrir a válvula de escape, ocorre uma brusca perda de pressão no diagrama p-V. Já no diagrama T-S, a área abaixo da curva é proporcional ao calor rejeitado pelo sistema.

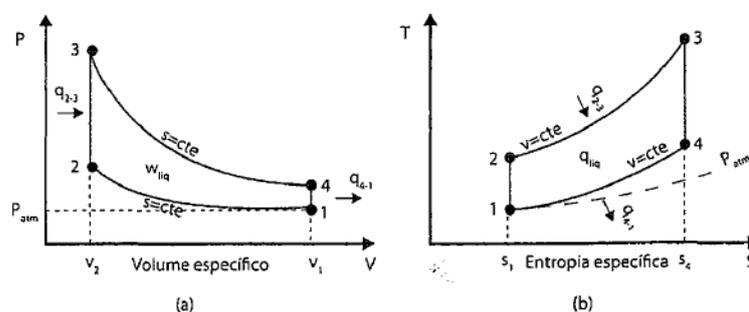


Figura 4 – (a) Diagrama p-V (b) Diagrama T-S

Brunetti, 2012

A figura 5 auxilia para um melhor entendimento de como funcionam os quatro tempos de um motor regido pelo ciclo Otto.

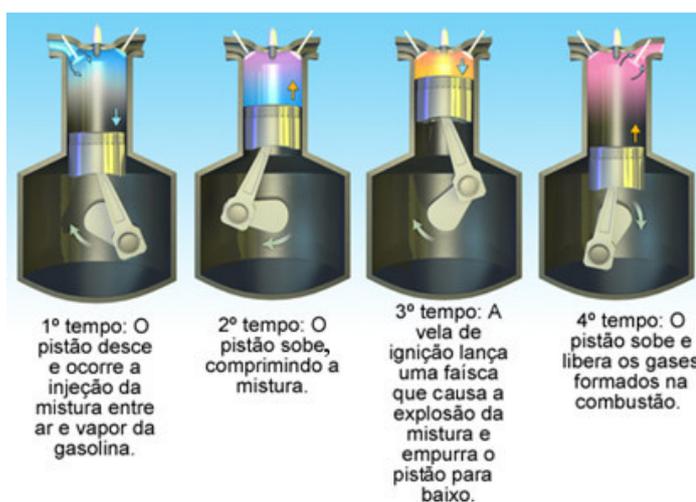


Figura 5 – Descrição dos 4 tempos do motor de ciclo Otto

Mundoeducação, 2018

De acordo com a segunda lei da termodinâmica, é impossível aproveitar todo o calor fornecido pela fonte quente – isso leva ao conceito de eficiência inerente. Se-

gundo Brunetti (2012), após inúmeros cálculos e considerações, tem-se a eficiência térmica descrita como:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{k-1}} \quad (2.2)$$

Onde :

K= constante adiabática

P_1/P_2 = taxa de compressão.

2.1.1.2 Ciclo Diesel

O ciclo Diesel se diferencia do ciclo Otto no processo 2-3, processo de fornecimento de calor. Este processo não se dá de forma isocórica e sim isobárica por causa da não instantaneidade da ignição, que não é comandada por centelha, segundo FayetteTaylor (1985).

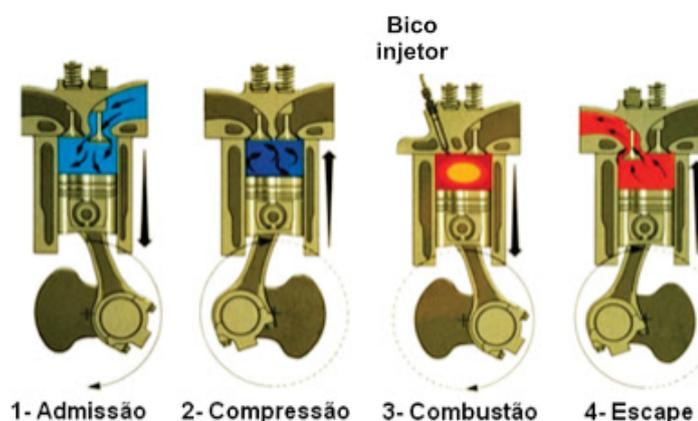


Figura 6 – Descrição dos 4 tempos do motor de ciclo Diesel

Maquinasemotoresnapesca, 2018

2-3: Fornecimento de calor: Os motores de ciclo diesel têm a injeção de combustível diretamente na câmara de combustão. A ignição do combustível se dá no instante em que o pistão atinge o ponto morto superior. Como esse processo de ignição não é comandado por centelha, o calor não se distribui na câmara de forma instantânea. No diagrama T-S, a área embaixo da curva 2-3 representa, assim como no ciclo Otto, o calor fornecido ao sistema.

Segundo Brunetti (2012), as áreas formadas pelos pontos 1-2-3-4 nos diagramas da figura 7, são respectivamente o trabalho líquido e o calor útil fornecido pelo ciclo termodinâmico.

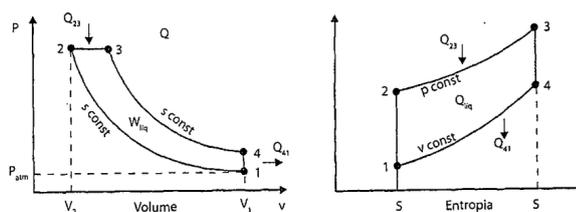


Figura 7 – (a) Diagrama p-V (b) Diagrama T-S

Brunetti, 2012

Para o ciclo diesel, mesmo sendo um ciclo-padrão ar, Brunetti (2012) recalcula a eficiência inerente pois há adição de calor e pressão constante e não há volume constante. Das considerações feitas e dos cálculos apresentados em seu trabalho, tem-se que a eficiência inerente para o ciclo Diesel é:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{(r_v)^{k-1}} \left[\frac{\left(\frac{T_3}{T_2}\right)^k - 1}{k \left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)} \right] \quad (2.3)$$

Onde:

η_t = Rendimento inerente

r_v = Taxa de compressão

K = Constante adiabática

T_3 = Temperatura 3

T_2 = Temperatura 2

2.1.1.3 Ciclo Miller

Com o intuito de aumentar o rendimento do motor a combustão interna, surgiu o ciclo Miller ou também conhecido como motor de cinco tempos. O ciclo Miller é um ciclo sobre-expandido que tem a mesma estrutura do ciclo Otto, porém sua fase de compressão é mais curta que a fase de expansão. Desta forma, consegue-se aproveitar melhor a entalpia dos gases, o que faz com que este ciclo apresente maior rendimento do que o ciclo Otto. Veículos como o Toyota Prius, os BMW com tecnologia Valvetronic, a tecnologia SVC da SAAB e os Audi com os motores Gen.3 já integram este ciclo em seus motores. (MARTINS; RIBEIRO, 2007)

Essa variação na fase de compressão, em relação à fase de expansão, pode se dar de algumas formas: (LOURENÇO, 2012)

- por “back flow”, ou seja, a válvula de admissão continua aberta durante um período da fase de compressão, devolvendo parte da mistura ar/gasolina para o coletor de admissão;
- por avanço no fecho da válvula de admissão, fazendo com que a válvula se feche ainda no período de admissão, retendo menos mistura ar/combustível;
- por variação mecânica do volume no interior do cilindro por meio de um sistema de biela manivela especial, conforme.

Contudo, para um rendimento mais elevado, se faz necessário simultaneamente o controle de taxa de compressão e do fechamento e da abertura das válvulas. Este controle de taxa de compressão, no momento, se encontra em desenvolvimento na indústria automobilística. (MARTINS; RIBEIRO, 2007)

A figura 8 mostra um comparativo entre o ciclo Otto e o ciclo Miller. A parte descrita na imagem pelos pontos 1,4',4 e 5 é a área de ganho de eficiência do ciclo Miller em relação ao ciclo Otto

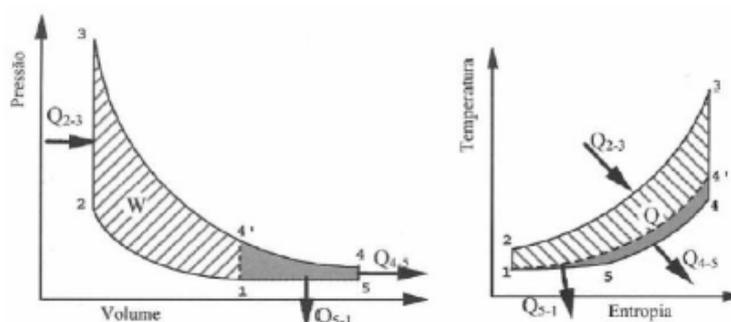


Figura 8 – (a) Diagrama p-V (b) Diagrama T-S

Lourenço (2012)

Para análise de rendimento do ciclo de Miller, é preciso analisar dois casos. O primeiro caso é quando, mecanicamente, varia-se o volume da câmara de combustível (taxa de compressão retida (ϵ_{ret}) fixa). Já o segundo caso se consolida para variações no tempo de abertura de válvula (taxa de compressão geométrica (ϵ_g) fixa).

O cálculo para o rendimento com taxa de compressão retida (ϵ_{ret}) fixa é: (LOURENÇO, 2012)

$$\eta_{m,ret} = 1 - \frac{1}{(\epsilon_{ret}^{\gamma-1} \cdot \sigma^{\gamma-1})} + \frac{\gamma \cdot \sigma^{\gamma-1} - (\gamma - 1) \cdot \sigma^{\gamma} - 1}{B \cdot (\gamma - 1) \cdot \sigma^{\gamma-1}} \quad (2.4)$$

Onde:

$\eta_{m,ret}$ = rendimento do ciclo de Miller para taxa de compressão retida

ε_{ret} = taxa de compressão retida

B = constante supondo que a mistura de combustível é sempre estequiométrica

γ = Quociente entre capacidades caloríficas

σ = relação de expansão

O cálculo para o rendimento com taxa de compressão geométrica (ε_g) fixa é:(MARTINS, 2006)

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon_g^{\gamma-1}} - \frac{1 + \sigma^\gamma - (\gamma - 1) - \gamma \cdot \sigma^{\gamma-1}}{(\gamma - 1) \cdot \sigma^{\gamma-1} \cdot B} \quad (2.5)$$

Onde:

ε_g = taxa de compressão geométrica

η = rendimento do ciclo de Miller para taxa de compressão geométrica

2.1.1.4 Ciclo Atkinson

O ciclo Atkinson figura 9 tem como conceito a expansão dos gases até a pressão atmosférica – como apresentado na figura 10, o que garante o uso completo da entalpia dos gases.

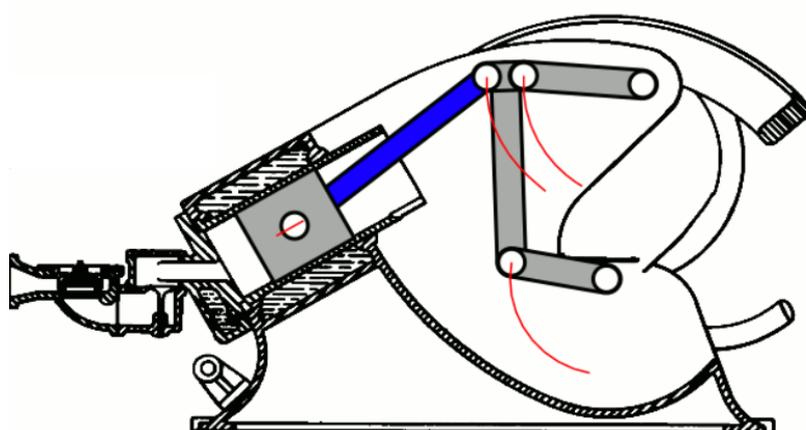


Figura 9 – Mecanismo para ciclo sobre-expandido

Wikipedia, 2017

Para que essa expansão até a pressão atmosférica ocorra, o curso do pistão deve ser muito grande, de modo que o rendimento mecânico diminui, além de a eficiência global ser reduzida. Dessa forma, considera-se que o ciclo Atkinson constitui um ciclo unicamente teórico e de realização inviável até o presente momento. É importante ressaltar que, nos ciclos sobre-expandidos, um motor tem menos potência,

quando comparado a outro de mesma cilindrada no ciclo Otto, pois a quantidade de mistura admitida nos ciclos sobre-expandidos é menor. (LOURENÇO, 2012; GOMES, 2015)

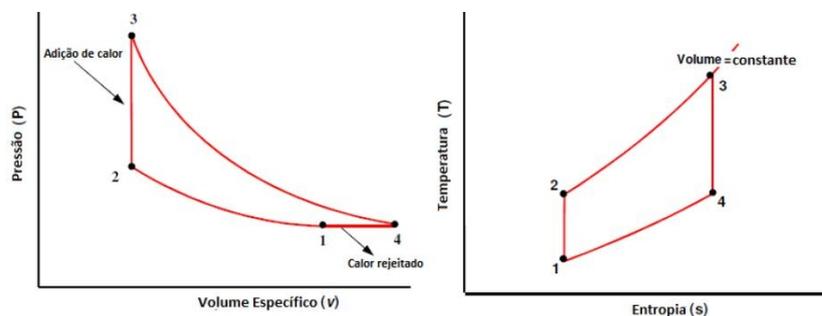


Figura 10 – (a) Diagrama p-V (b) Diagrama T-S

Gomes, 2015

2.1.1.5 Rendimentos

Martins (2006) apresenta que o rendimento global é a soma dos rendimentos marginais, que são:

- i) de combustão
- ii) adiabático
- iii) teórico
- iv) relativo às propriedades dos fluidos
- v) inerente
- vi) de bombagem
- vii) mecânico
- viii) volumétrica

Como formulado na equação 2.6, para um melhor rendimento global, deve-se melhorar cada um dos rendimentos marginais. O rendimento global é uma relação entre a quantidade de combustível gasto e a quantidade de trabalho fornecido. (MARTINS, 2006)

$$\eta_T = \eta_c \cdot \eta_a \cdot \eta_t \cdot \eta_p \cdot \eta_i \cdot \eta_B \cdot \eta_M \quad (2.6)$$

O rendimento da combustão expresso pela fórmula 2.7 mostra o quanto a combustão é incompleta e não uniforme. Esse rendimento é expresso pela relação entre a quantidade de calor que o combustível pode fornecer e a quantidade que ele realmente fornece. (MARTINS, 2006)

$$\eta_c = \frac{Q_c}{m_f Q_{pi}} \quad (2.7)$$

Onde:

Q_c = Calor fornecido pela combustão.

m_f = Massa

Q_{pi} = Poder calorífico do Combustível.

Para o rendimento adiabático, conforme a equação 2.8, é importante notar que parte do calor fornecido pela combustão é transferido para as partes físicas do motor. Este calor perdido não age na expansão dos gases, portanto diminui a pressão na câmara de combustão e a eficiência. (MARTINS, 2006)

$$\eta_a = \frac{Q_a}{Q_c} \quad (2.8)$$

Q_a = Calor realmente aproveitado.

Q_c = Calor fornecido pela combustão.

O rendimento teórico é baseado na segunda lei da termodinâmica e nos mostra quanto do calor realmente aproveitado se transforma em trabalho, como na fórmula 2.9. No ciclo Otto, esse rendimento está relacionado apenas à taxa de compressão. (MARTINS, 2006)

$$\eta_t = \frac{W_t}{Q_a} \quad (2.9)$$

Onde:

W_t = Trabalho do ciclo teórico.

Q_a = Calor realmente aproveitado.

No rendimento relativo, é considerada a variação de propriedade do fluido devido à diferença de temperatura, o que é calculado conforme a equação 2.10. No ciclo, o ar passa por zonas de temperaturas diferentes e, para cada zona de temperatura, ele

adquire uma propriedade diferente, perdendo, assim, capacidade de fornecer trabalho ao conjunto. (MARTINS, 2006)

$$\eta_p = \frac{W_t}{W_p} \quad (2.10)$$

Onde:

W_t = Trabalho considerando as proporções reais dos fluidos.

W_p = Trabalho do ciclo teórico.

O rendimento inerente será mais bem explorado nos tópicos a seguir. Ele é ilustrado pela área do diagrama p-V. Para cada ciclo, existe um diagrama diferente e, conseqüentemente, uma área diferente com um rendimento associado. De forma genérica, esse rendimento pode ser expresso pela equação 2.11. (MARTINS, 2006)

$$\eta_i = \frac{W_t}{W_p} \quad (2.11)$$

Onde:

W_t = Trabalho do ciclo inerente.

W_p = Trabalho do ciclo (propriedades).

A eficiência de bombagem (formula 2.12) é inerente à sucção do ar para dentro do motor. O motor funciona como uma bomba de vácuo, forçando a entrada de ar para dentro de seus cilindros. O motor sobrealimentado tem a pressão de admissão maior que a pressão de escape, podendo, assim, trabalhar com pressão positiva e aumentar essa eficiência. (MARTINS, 2006)

$$e_B = \frac{W_i}{W_t} \quad (2.12)$$

Onde:

W_i = Trabalho do ciclo indicado.

W_t = Trabalho do ciclo inerente

Segundo Martins (2006), o rendimento mecânico é responsável pelas maiores perdas do motor, as quais advêm do atrito entre peças mecânicas e hidráulicas. Este Rendimento relaciona o trabalho indicado pelo ciclo com o trabalho efetivo, formula 2.13.

$$\eta_M = \frac{W_e}{W_i} \quad (2.13)$$

Onde:

W_e = Trabalho efetivo

W_i = Trabalho do ciclo indicado.

A eficiência volumétrica (fomula 2.14) constitui a razão entre o volume de ar que o cilindro conseguiu admitir e o volume de ar que caberia dentro dele. Parte disso é dada pela inércia dos gases. (MARTINS, 2006)

$$e_{vol} = \frac{m_{ar}}{\rho V_v N} \frac{T}{2} \quad (2.14)$$

M_{ar} = Massa de ar admitida.

ρ = Densidade referencia

V_v = Volume deslocado

N = Velocidade de Rotação

T = Números de tempo de ciclos

2.1.1.6 Breve comparativo entre os motores a combustão interna

Nos capítulos anteriores, foram apresentados os diferentes rendimentos associados à carga que definem a eficiência do MCI. Martins (2006) disponibiliza um gráfico para que a comparação entre os ciclos Otto, Diesel, Misto, Miller, Atkinson e Otto equipado com injeção direta, seja de mais fácil interpretação. Para essa comparação, foi definida a taxa de compressão de 12:1, 20:1, 18:1, 12:1, 12:1, 12:1 respectivamente.

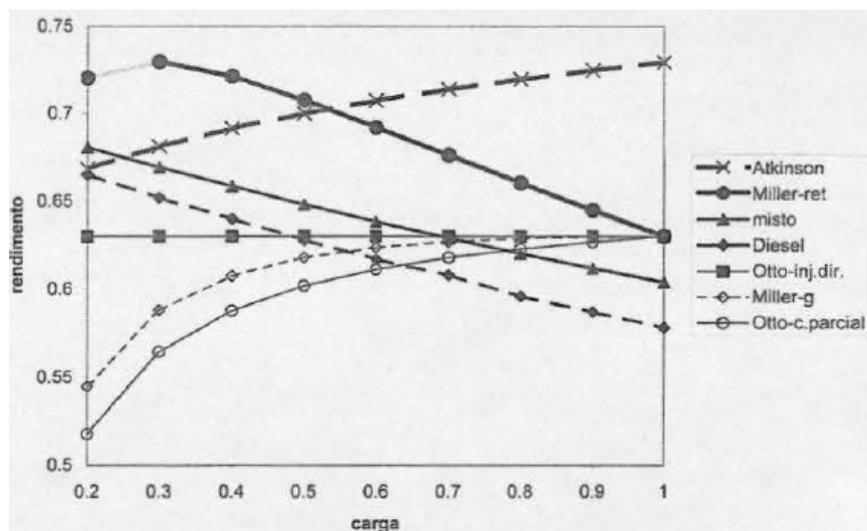


Figura 11 – Comparação entre rendimentos dos ciclos teóricos
Martins, 2006

Analisando a figura 11 nota-se que o ciclo Miller apresenta um melhor rendimento em todas as cargas em relação aos ciclos Otto, Diesel, Misto, e Otto equipado com

injeção direta. Já para cargas inferiores a 0,5, o ciclo Miller tem um rendimento inferior em comparação ao ciclo Atkinson, porém ambos possuem o mesmo rendimento máximo.

2.1.2 Motores elétricos

Para um projeto de carro híbrido, o motor elétrico deve obrigatoriamente fazer parte da propulsão do veículo; caso contrário, o veículo é considerado um veículo elétrico com autonomia estendida. Na escolha do motor para um projeto, deve-se considerar o peso do veículo, a aerodinâmica, a dinâmica, o centro de gravidade, o rendimento do motor, a potência, torque, a fonte de energia, entre outros. (DIAS, 2013)

Os motores elétricos, em suas variações, apresentam características semelhantes, tais como torque máximo instantâneo e constante e rotações de funcionamento elevadas, além de apresentarem um altíssimo rendimento, quando comparados aos motores a combustão interna, e de serem muito robustos. (MAGALHÃES, 2014)

Os motores elétricos CC (corrente contínua), os motores de indução, os motores de ímãs permanentes e os motores de relutância variável são encontrados em veículos híbridos elétricos comercializados. (DIAS, 2013)

2.1.2.1 Motores de corrente contínua

Apesar dos motores CC (figura 12) apresentarem uma simplicidade de construção e uma boa relação entre torque e velocidade, essas categorias de motores necessitam de manutenção mais constante, porque apresentam escovas para tornar o rotor um eletroímã, além de não apresentarem um rendimento elevado, se comparados às outras categorias de motores elétricos. (MAGALHÃES, 2014)

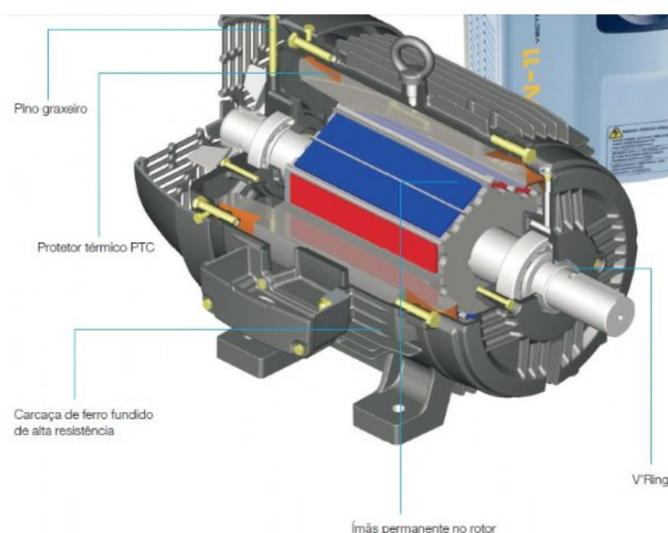
Para que o eixo interno do motor gire, existem, na carcaça externa, ímãs permanentes, que são chamados de estatores. Assim que a corrente passa pelo rotor, ele vira um eletroímã e o campo magnético gerado reage com o campo magnético do estator, fazendo o rotor girar. Para que o rotor continue energizado, é preciso que sempre passe corrente por ele. A solução para essa questão foi as escovas, que são peças de material condutor que ficam em contato com o rotor mesmo que ele esteja girando. (MAGALHÃES, 2014)

**Figura 12 – Motor CC**

Yting, 2018

2.1.2.2 Motores síncronos

O motor elétrico síncrono se assemelha muito na forma de funcionamento aos motores CC. Comparando com os motores CC, os motores síncronos têm, em sua construção, os ímãs permanentes localizados no rotor e as bobinas localizadas no estator, o que tira a necessidade do uso de escovas. Com essa inversão na construção, os motores síncronos adquiriram novas qualidades, como mais elevada densidade de potência e uma maior eficiência para transformar a energia elétrica em energia mecânica, além de conseguirem uma maior dissipação de calor. (DIAS, 2013)

**Figura 13 – Motor Síncrono**

Motoreletrico, 2011

2.1.2.3 Motores de indução

Os motores de indução possuem alta robustez, baixa manutenção, capacidade de operar em condições difíceis e baixo custo, o que as torna uma excelente opção para os veículos híbridos elétricos. Contudo, a baixa eficiência de conversão de energia, as altas perdas e o baixo fator de potência são características negativas que o motor elétrico por indução possui. Para que essas características não desejáveis sejam amenizadas, implementa-se um sistema multifásico com mudança de polo ou utilizam-se inversores duplos. (DIAS, 2013; MAGALHÃES, 2014)

Assim como nos outros motores elétricos, este também é constituído por um rotor e um estator. Nessa configuração, o rotor conta com bobinas defasadas de 120 graus, onde a corrente trifásica ou multifásica gera um campo magnético no estator que reage ao campo magnético do rotor. O rotor é posto em curto-circuito pelas extremidades e constituído por barras de alumínio ou cobre. (MAGALHÃES, 2014; DIAS, 2013)

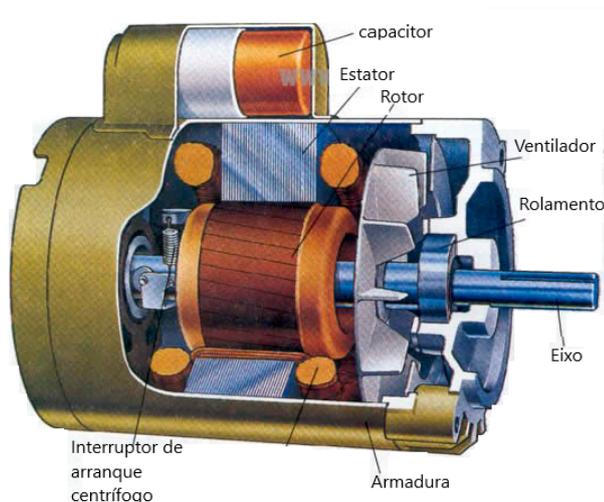


Figura 14 – Motor elétrico de indução.

Eletróvalmotores, 2018

2.1.2.4 Motores de relutância variável

O motor elétrico de relutância variável é ainda mais robusto e contém a construção mais simples que o Motor de indução, é tolerante a falhas, tem uma excelente relação torque- velocidade e contém uma faixa de potência longa. Entretanto, esta configuração de motor elétrico gera muito ruído, causa interferência eletromagnética nos outros componentes e contém o torque oscilante com a velocidade. (DIAS, 2013)

O que dá as características desse motor é sua forma de construção, que conta com o rotor e o estator feitos de ferro. O desalinhamento do campo magnético do rotor com o campo magnético do estator faz com que o rotor gire. Assim que os campos

magnéticos se alinham, a corrente é desligada e posteriormente religada, quando se desalinham novamente. (DIAS, 2013)

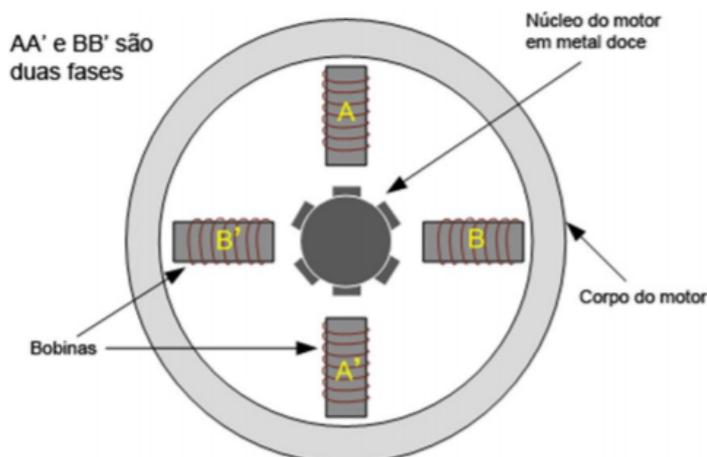


Figura 15 – Motor de Relutância variável quatro polos

Unesp, 2013

2.1.2.5 Breve comparação dos motores elétricos

Dias (2013) apresenta uma tabela de comparação entre os motores elétricos. Nela, é utilizada uma escala de 0 a 5 e posteriormente é feita uma soma simples, sem colocação de pesos, para as características. Este peso pode ser colocado de acordo com a finalidade do projeto.

Na tabela apresentada, é possível notar que os motores elétricos por indução (PM) e os motores elétricos síncronos (IM) são superiores em densidade de potência, e eficiência se comparado aos motores elétricos de corrente contínua (CC) e aos motores elétricos de relutância variável (SRM). Estas características acima citadas tornam os motores PM e IM mais interessantes para implementação em VEs e VHEs. (DIAS, 2013)

Tabela 1 – Comparativo entre diferentes tipos de motores elétricos

Tipo de motor	CC	IM	PM	SRM
---------------	----	----	----	-----

Tipo de motor	CC	IM	PM	SRM
Densidade de potência	2,5	3,5	5	3,5
Eficiência	2,5	3,5	5	3,5
Controle	5	5	4	3
Fiabilidade	3	5	4	5
Custo	4	5	3	4
Total	17	22	21	19

Dias, 2013

2.1.3 Baterias

A bateria pode ser definida como uma fonte eletroquímica de potência capaz de transformar a energia de reação química em energia elétrica. A função de armazenagem de energia das baterias, provida de fontes externas, tem sido mais requisitada nos últimos anos. (VARELA et al., 2002)

Para a estocagem de energia, o estudo de materiais condutores iônicos sólidos para aplicações em baterias como eletrodos e eletrólitos fez-se necessário, não se limitando apenas aos VHEs. A atual utilização de fontes limpas de energia, como a energia solar e a eólica, os aparatos biomédicos e as arquiteturas computacionais, entre outras, se torna viável a partir do momento em que há meios eficientes de estocagem de energia. Entre as inúmeras variações de dispositivos englobados na categoria de baterias, têm-se as células metal-ar, metal-hidreto metálico (Ni-HM), níquel-cádmio (Ni-Cd), células térmicas, íons-Lítio, entre outras. (SILVA; SILVA, 2005)

Segundo Varela et al. (2002), em 1997, dos 34 bilhões de dólares movimentados com baterias, 24 bilhões foram destinados a baterias secundárias (baterias recarregáveis), enquanto apenas 10 bilhões de dólares se destinaram a baterias primárias (baterias não recarregáveis).

2.1.3.1 Baterias de Chumbo-Ácido

Segundo Noce (2009), a bateria de chumbo ácido é a bateria mais produzida no mundo. Isto se dá pelo fato de ser uma tecnologia empregada desde 1859 e, ainda, de

atender a demanda de carros hoje no mercado. Por ser uma tecnologia utilizada desde a metade do século XIX, ela apresenta um baixo custo de fabricação e facilidade na fabricação. Apresenta também facilidade de obtenção de matéria-prima. Desta forma, essa tecnologia, inventada pelo francês Gastón Planté, totaliza mais de 100 milhões de unidades fabricadas anualmente.

2.1.3.2 Baterias de Níquel-Cádmio

A bateria de níquel-cádmio (NiCd) apareceu no mercado em 1990 com a necessidade de suprir os equipamentos eletrônicos portáteis. Esta bateria, embora promissora, gera resíduo no meio ambiente, pelo que foi utilizada aproximadamente até os anos 2000. Quando o descarte da bateria é feito de forma inadequada, o cádmio contamina o lençol freático e, com o consumo de água e/ou plantas contaminadas pelos animais, há um acúmulo de metais pesados no organismo. Outro ponto negativo dessas baterias é o efeito memória, que foi contornado por carregadores inteligentes que descarregam a bateria por completo antes de serem recarregadas. (NOCE, 2009)

2.1.3.3 Bateria de Níquel-Metal-Hidreto

Com as desvantagens apresentadas para a bateria de NiCd, desenvolveram-se as baterias de níquel-metal-hidreto (NiMH), que já não contavam mais com o efeito memória nem com o problema ambiental, e ainda apresentava maior poder de armazenagem de carga.

Após as baterias de chumbo ácido, a bateria de NiMH veio ao mercado com propostas atraentes para os fabricantes de carros elétricos e VHEs. Após a tecnologia ter sido otimizada pelos fabricantes de eletrônicos portáteis, os fabricantes de carros como General Motors, Honda e Toyota equiparam seus carros com essas baterias para que fornecessem energia ao motor elétrico responsável pela tração do veículo. A bateria de NiMH foi uma resposta tão interessante às outras categorias de baterias existentes no mercado que é utilizada até hoje em pilhas recarregáveis. (NOCE, 2009)

2.1.3.4 Bateria de Lítio

Noce (2009) afirma que a pesquisa do uso de lítio como eletrólito em baterias teve seu início na década de 70. Um aspecto negativo dessa bateria estava no fato de que, ao reagir com a umidade, o lítio perdia suas características. No final da década de 70, uma pesquisa de Oxford revelou que o lítio poderia ser intercalado ou absorvido pelo retículo cristalino de cobalto ou níquel, formando o LiCoO_2 ou LiNiO_2 . Existem várias variações de baterias de lítio, tais como as baterias de lítio-íon-cobalto, as

de lítio-íon-manganês, as de lítio-ion-ferro-magnésio, as de lítio-íon-fosfato e as de lítio-ion-óxido de titânio.

Segundo Noce (2009), as vantagens das baterias de lítio são a alta capacidade de armazenamento de energia e, ainda assim, uma recarga rápida. Além disso, possuem baixa toxicidade, não apresentam efeito memória e trabalham em temperatura próxima à temperatura ambiente, o que a torna a bateria mais promissora para portáteis. O maior potencial de redução do lítio (3,045V), além de uma massa molecular baixa para metais (6,94), torna esse material ideal para a produção de baterias mais leves.

2.1.3.5 Bateria de Lítio-Polímero

Segundo Noce (2009), a bateria de lítio-polímero contém o eletrólito no estado sólido, e por isso são classificadas como baterias sólidas. A parte sólida da bateria é constituída de óxido de polietileno ou poliácridonitrila, o que faz com que as baterias de lítio-polímero sejam mais resistentes e mais seguras em caso de acidentes, além do custo de produção reduzido e da possibilidade de fabricação com geometrias diversas.

Ainda segundo Noce (2009), por essas baterias não serem feitas com materiais inflamáveis, elas podem trabalhar com segurança em temperaturas acima de 60°C. Por essas razões, as baterias de lítio-polímero vêm sendo as mais promissoras para uso em veículos, apresentando, além de uma boa energia específica, uma alta potência específica e uma vida útil elevada.

2.1.3.6 Breve comparativo entre baterias

Magalhães (2014), apresenta, em seu trabalho, uma tabela e uma imagem que auxiliam na comparação entre as baterias. Dado o exposto acima, conclui-se que as baterias de lítio são as que mais avançada tecnologia têm, o que faz com que tenham a maior aplicabilidade em VHEs e veículos puramente elétricos. Merecem especial destaque as baterias de lítio-polímero, que, além de apresentarem todas as características de uma bateria de íons de lítio, como ausência de efeito memória, alta densidade específica, baixo peso, elevada energia específica e elevada potência específica, ainda são nocivas ao meio ambiente.

Tabela 2 – Comparativo das Baterias

Características das Baterias	Energia específica (Wh/kg)	Densidade de potência (Wh/l)	Potencia Específica (W/kg)	Eficiência (%)	Preço (€/kW.h)
Baterias					
Chumbo-Ácido	30 - 40	60 - 75	150 - 400	70 - 90	45
Ni-MH	30 - 80	140 - 300	250 - 1000	60 - 70	150 - 190
Ni-Cd	50 - 60	50 - 150	150	75	180 - 220
Lítio	80 - 130	200	300	80 - 90	110
Lítio polímero	150 - 200	> 200	350	-	110

Magalhães, 2014

A imagem apresentada compara as diferentes configurações de baterias em relação à quantidade de energia pelo volume e peso. Nota-se, na figura 16, que as baterias de lítio-metal são as de menor peso e as mais leves, contendo, assim, a melhor energia específica e a melhor densidade de energia. No entanto, ela não é segura para utilização em veículos.

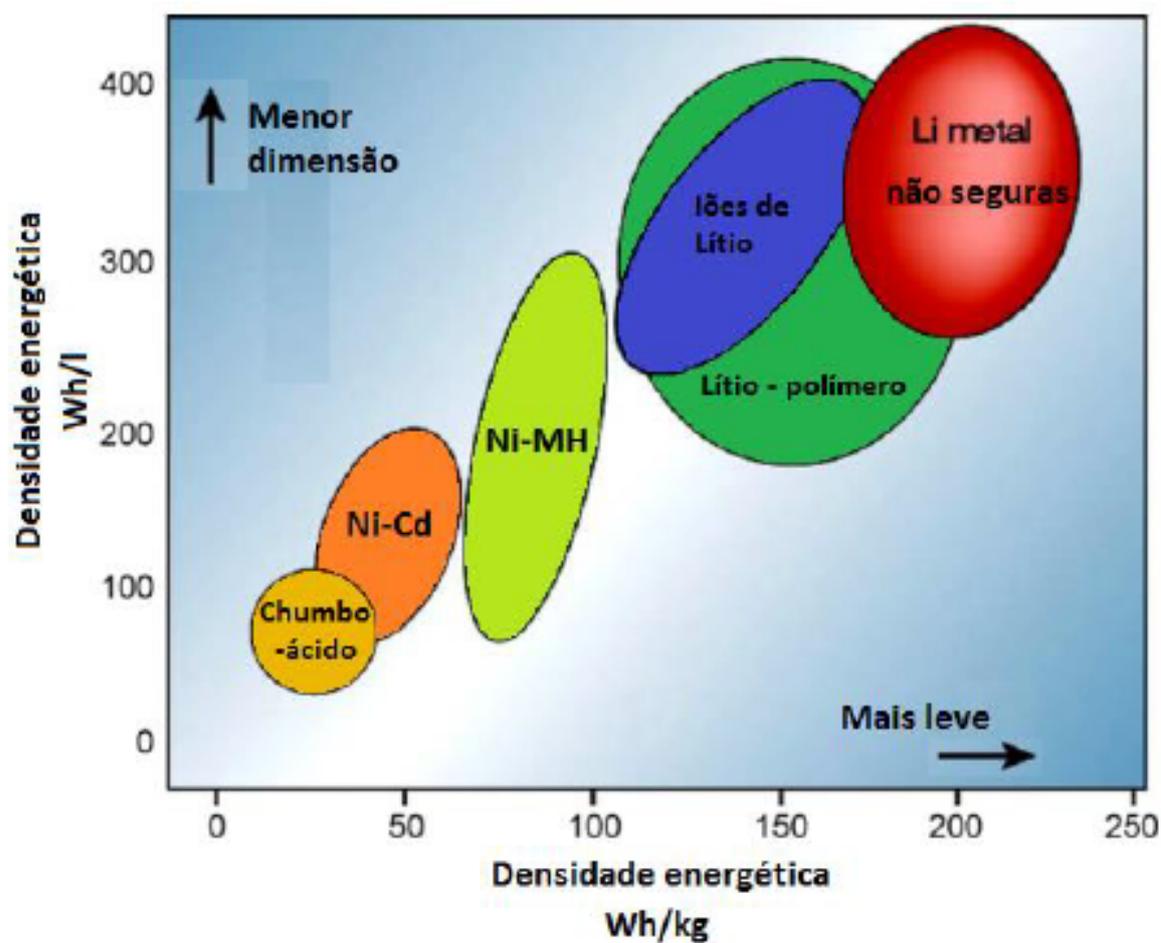


Figura 16 – Peso e dimensão pela quantidade de energia.

Magalhães, 2014

2.1.4 Configurações de VHEs

Segundo Dias (2013), os VHEs contêm duas fontes de trabalho diferentes e podem ser ligados de várias formas diferentes para atender a requisitos distintos, como ganho de autonomia, ganho de potência, resposta de torque, diminuição da emissão de poluentes, entre outros. A figura 17 mostra que a forma como esses componentes se interligam formam diferentes configurações de VHEs – híbrido paralelo, híbrido série-paralelo e híbrido série, sendo este último definido pela SAE como elétrico com autonomia estendida.

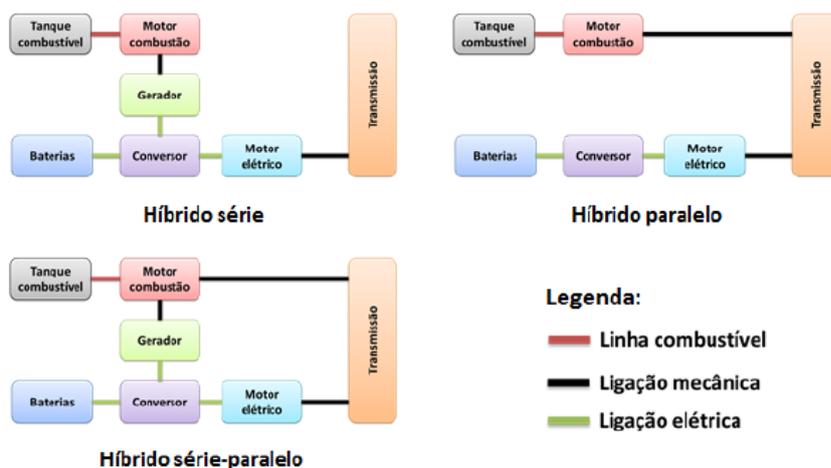


Figura 17 – Diagrama para diferentes configurações de VHEs

Dias, 2013

Abaixo, será feita uma explanação sobre as vantagens, as desvantagens e as diferentes características que compõem as configurações híbrido paralelo, híbrido série-paralelo e o híbrido série dos VHEs.

2.1.4.1 Híbrido paralelo

Dias (2013), afirma que, para que a configuração de VHE seja considerada híbrido paralelo, o MCI e o motor elétricos devem estar, de alguma forma, acoplados à transmissão, fornecendo propulsão ao veículo. Com essa configuração, o VHE paralelo, como o Honda Insight e o Ford Fusion Hybrid, figura 18 conta com um sistema de controle que define o momento e a intensidade com que cada motor vai atuar de acordo com as necessidades do condutor.



Figura 18 – (a) Honda Insight; (b) Ford Fusion Hybrid

jalopnik, 2009

Assim como apresentado na imagem 19, o motor elétrico, quando não requisitado para compor a tração do veículo, funciona como gerador, para que as baterias sejam recarregadas e, assim, a autonomia da parte elétrica seja restituída.

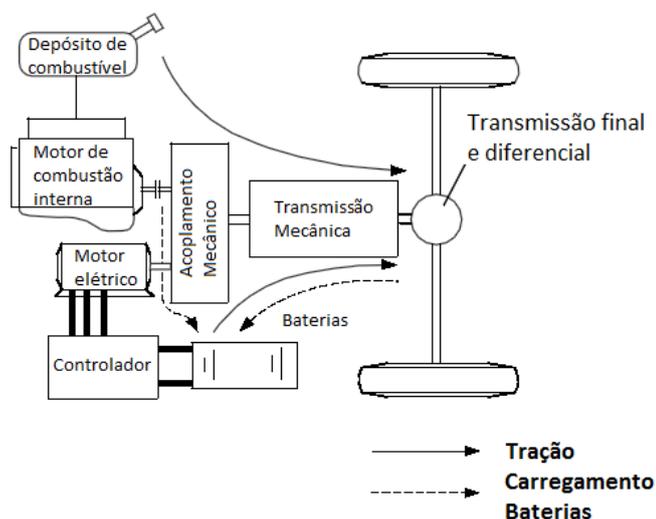


Figura 19 – VHE Paralelo

Magalhães, 2014

Segundo Bruno Filipe de Oliveira Magalhães (2014), a configuração de VHE paralelo é utilizada porque os motores são diretamente ligados ao acoplamento mecânico. Desta forma, não é necessário que haja conversão de energia para movimentar o veículo, o que conseqüentemente diminui as perdas por conversão. Como os dois motores estão responsáveis por movimentar o veículo, não se faz necessário um motor elétrico grande.

2.1.4.2 Híbrido série (elétrico com extensor de autonomia)

Segundo Magalhães (2014), Dias (2013), os veículos denominados como VHE série contam apenas com o motor elétrico para se movimentar, por isso a determinação da SAE que este seria um veículo elétrico com extensor de autonomia. Para tanto o que garante a extensão da autonomia do veículo é um motor a combustão interna que funciona em regime permanente, garantindo sua maior eficiência na conversão de energia. O BMW I3, figura 20 é um exemplar que já equipada esta tecnologia.



Figura 20 – Veículo Híbrido série (BMW i3)

Novaenergia, 2016

(DIAS, 2013) afirma que, para que as baterias permaneçam na quantidade ideal de carga, um controle eletrônico é feito para ligar ou desligar o MCI no momento correto. Este motor é acoplado a um gerador que hora carrega as baterias hora fornece energia elétrica diretamente ao motor elétrico. Este motor elétrico por sua vez é o único motor acoplado mecanicamente a transmissão, sendo responsável por tracionar o veículo e recarregar as baterias nos momentos de desaceleração do veículo, como ilustrado na imagem 21.

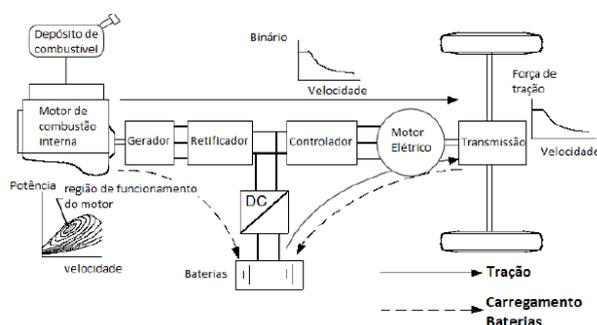


Figura 21 – VHE Série

Magalhães, 2014

Esta configuração de VHE é utilizada, porque o motor a combustão funciona em regime estacionário, significando maior eficiência da combustão e consequentemente reduzindo emissões de poluentes e a poluição sonora. As perdas causadas pela caixa de velocidades não existem pois, como o motor elétrico trabalha em torque máxima a zero rotação por minuto (r.p.m), ele é capaz de atender o veículo em todas as velocidades.

Para que os requisitos de projetos sejam atendidos, os motores elétricos nesta configuração devem ser maiores e mais pesados se comparado aos VHE paralelos. Para que a extensão de autonomia seja feita, o sistema conta com três conversões

de energia, o que diminui seu rendimento total, da seguinte forma: a energia da combustão é convertida em energia mecânica no motor a combustão, em seguida a energia mecânica é convertida em energia elétrica pelo gerador e por fim a energia elétrica é convertida em energia mecânica pelo motor elétrico, movimentando o VHE série. (MAGALHÃES, 2014; DIAS, 2013)

2.1.4.3 Híbrido série-paralelo

Assim como o nome diz, esta configuração tem como objetivo unir as vantagens apresentadas tanto nos VHEs paralelos quanto nos VHEs série. Esta configuração é de mais fácil entendimento com o auxílio da figura 22.

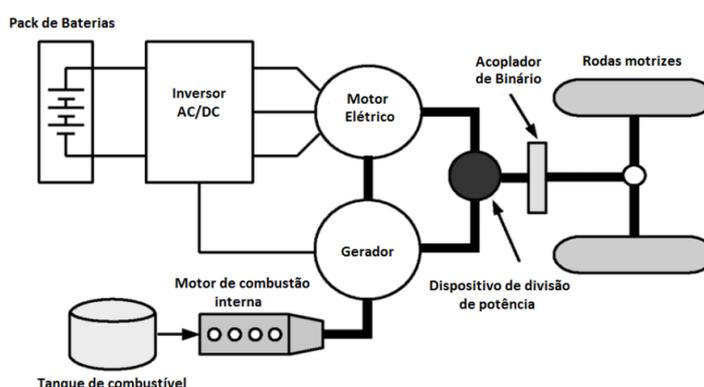


Figura 22 – VHE Série-Paralelo

Dias, 2013

Esta solução híbrido série-paralelo apresenta-se com o custo mais elevado e com maior complexibilidade no controle por conta do acréscimo de um gerador e de um dispositivo de divisão de potência. A solução para esse divisor de potência é um conjunto de planetárias, como mostra a figura 23, ou o uso de um transmotor, de modo a fazer o controle da velocidade do motor a combustão interna. (MAGALHÃES, 2014)

Este controle da velocidade de rotação, feito pelas planetárias, possibilita o MCI a trabalhar na rotação de maior eficiência. Assim, quando o VHE série-paralelo está funcionando apenas com o motor elétrico para propulsão, o MCI consegue executar a conversão para energia elétrica de forma mais eficaz possível. O Toyota Prius é um dos exemplares que compartilha esta inovação. (DIAS, 2013)

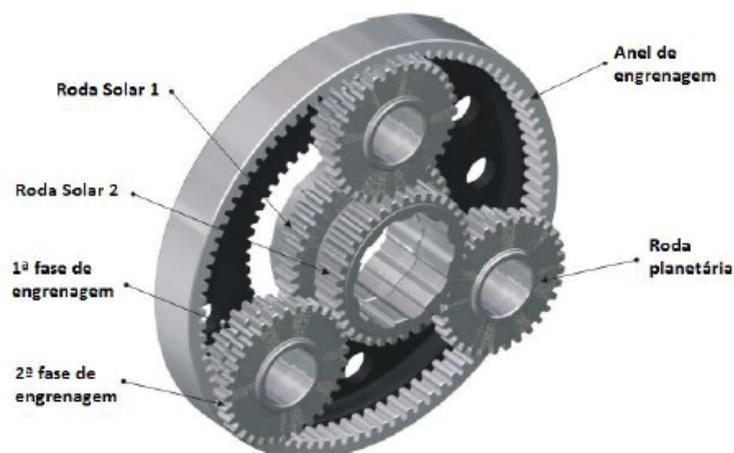


Figura 23 – Sistema de planetárias

Dias, 2013

O Toyota Prius, figura 24 cedido para a Faculdade do Gama contem este complexo sistema para melhor atender tanto situações de estrada quanto circuitos urbanos.



Figura 24 – Toiota Prius

FGA, 2018

2.1.4.4 Breve comparativo entre diferentes configurações

Para que uma comparação seja feita de forma mais sucinta, (MAGALHÃES, 2014) apresenta a tabela 3, a qual compara algumas características das configurações de VHE série, paralelo e série-paralelo.

Tabela 3 – Comparativo para as configurações de VHEs

Configurações	Série	Paralelo	Série - Paralelo
Características			
Eficiência circuito urbano	++	+	++
Eficiência circuito extraurbano	+	++	++
Potencial de redução de emissões	++	+	++
Custo	--	-	--
Complexidade	-	-	--
Facilidade de Controle	-	-	--

Magalhães, 2014

Nota-se que a configuração série-paralelo consegue atender o proposto de incorporar as vantagens das duas outras configurações. Contudo, as desvantagens de custos e de complexidade e a dificuldade de controle podem ser proibitivas em projetos.

Em projetos em que a configuração série-paralelo não é viável, é implementada outra configuração, que pode ser ou paralelo ou série. Veículos projetados para circuitos urbanos têm maior eficiência e menor emissão, se equipado com a configuração série. Já os veículos que têm objetivo de uso extra urbano são mais bem atendidos se implementada a configuração paralela.

3 Materiais e Métodos

A metodologia utilizada para a obtenção de dados propostos inicialmente será feita de acordo com a NBR 16567/2016 – Veículos rodoviários híbridos elétricos leves - Medição de emissão de escapamento e consumo de combustível e energia - Métodos de ensaio. Os dados serão obtidos de dois veículos diferentes: o Híbrido Toyota Prius e um carro de Golf, cujos dados de cada um encontram-se dispostos nos subtópicos seguintes.

Inicialmente deverá ser retirado os dados de potência, torque e consumo específico do Toyota Prius. Os dados deverão ser obtidos através de um teste de estrada utilizando o scanner automotivo ELM 32.

Com os dados do Toyota Prius colhidos, se inicia os trabalhos com o carro de golfe. Primeiramente será feito um teste no dinamômetro de rolo onde o veículo deverá ser devidamente amarrado. Será adquirido os dados de potência entregue nas rodas pelo sistema propulsor.

Por último serão obtidos os dados de carregamento e consumo específico fornecidos pelo gerador. Para a obtenção destes dados se utilizara de um multímetro para medir a tensão fornecida pelo gerador e um amperímetro alicate para obter dados de corrente, e assim medir a potência fornecida pelo gerador.

Os materiais utilizados encontram-se na Faculdade do Gama e foram disponibilizados pela Universidade de Brasília. Dentre eles, estão: o dinamômetro de rolo, e o scanner automotivo. Por meio destas ferramentas, será possível extrair os dados necessários para comparação entre veículos.

3.1 Veículo originalmente Híbrido série-paralelo

O Híbrido Toyota Prius (figura 25) trabalha com dois motores, um elétrico e outro à combustão, que estão dispostos de forma paralela. O veículo conta com um sistema de regeneração de energia proveniente dos freios, que tem a função de recarregar as baterias e, então, aumentar a autonomia do motor elétrico. Este é o veículo que servirá como base comparativa para eficiência da conversão do VHE série.(FERRARI, 2011)



Figura 25 – Toyota Prius

(UnB, 2018)

A tabela 4 apresenta os dados referentes ao motor do Veículo Toyota Prius.

Tabela 4 – Dados motor Toyota Prius

Instalação	Dianteiro	Variação do comando	Admissão
Disposição	Transversal	Diâmetro dos cilindros (mm)	80,5
Cilindros	4 em linha	Curso dos pistões (mm)	88,3
Válvulas por cilindros	4	Potência Máxima (cv)	123
Razão de Compressão	13:1	Potência Elétrica (cv)	72
Combustível	Híbrido	Potência Combustão (cv)	98 a 5200 rpm
Peso/Potência (kg/cv)	14,29	Torque máximo (kgfm)	14,2 a 3600 rpm
Código do motor	2ZR-FXE	Torque específico (kgfm/litro)	7,90
Aspiração	Natural	Potência específica (cv/litro)	54,51

Instalação	Dianteiro	Variação do comando	Admissão
Alimentação	Injeção multiponto	Comando de válvulas	Duplo no cabeçote, corrente
Cilindrada (cm³)	1798	Peso/Torque (kg/kgfm)	98,59

Carrosnaweb, 2018

3.2 Veículo convertido para híbrido série

O veículo originalmente elétrico (foto 26) foi convertido a VHE série, tendo o seu motor elétrico de 3,5 kW, responsável pela propulsão do veículo e um gerador de 800 W de potência responsável por estender a autonomia do veículo. Então, pretende-se fazer uma análise comparativa de consumo específico e emissão do escapamento entre os veículos VHE série e o VHE paralelo.



Figura 26 – Veículo elétrico (carro de golfe)

Própria, 2018

Na tabela 4 estão dispostos os dados do carro de golfe antes da conversão.

Tabela 5 – Dados carro de golfe

Especificação	Valores
Velocidade máxima (km/h)	12

Especificação	Valores
Peso (Kg)	224
Passageiros	6
Tensao (V)	48
potencia máxima (KW)	3,5

3.2.1 Gerador

O motor-gerador da Motomil, modelo MG-950, figura 27, foi utilizado com o intuito de fornecer energia elétrica as baterias, assim estendendo a autonomia do veículo. Este trabalha em regime permanente almejando melhor rendimento do motor. Este motor-gerador de dois tempos com potência nominal de 800 W e potência máxima de 950 W, tem seus dados técnicos expostos na tabela X



Figura 27 – Motor-gerador 2 tempos

Lojadomecanico, 2018

A tabela 6 apresenta os dados técnicos do gerador Motomil, modelo MG-950.

Tabela 6 – Dado gerador Motomil MG-950

Tipo do motor	monocilindro, Ref. Ar, 2 tempos	Autonomia na potência nominal (horas)	6,5
----------------------	------------------------------------	--	-----

Tipo do motor	monocilindro, Ref. Ar, 2 tempos	Autonomia na potência nominal (horas)	6,5
Cilindrada (cc)	87	Saída CC (V/)	12
Sistema de Partida	Manual retrátil	Estrutura	Sem Quadro
Capacidade de combustível (L)	4,5	Peso bruto (kg)	26
Filtro de ar	Duplo elemento	Dimensão da Embalagem (mm)	370 x 340 x 320
Potência nominal (W)	800	Tensão de saída nominal (V)	110
Potência máxima (W)	950	Fator de Potência $\cos \Phi$	1
Tensão de saída nominal (V)	110	Número de fases	Monofásico

Toyama, 2018

3.3 Materiais para análise

3.3.1 Dinamômetro

O dinamômetro Dynamite (figura 28) fará auxílio nas aquisições de dados necessárias do veículo convertido a híbrido série. A função do dinamômetro é realizar testes em veículos, simulando as situações mais reais de estrada de modo a obter dados, como potência e torque, consumo, fator lambda, simulação de subidas e descidas, adequação de inércia do sistema, simulação de forças aerodinâmicas, ajuste de resistência à rolagem e anulação de perdas.



Figura 28 – Dinamometro de rolo Dynamite

Do autor, 2018

3.3.2 Scanner automotivo

O Sistema Eletrônico Inteligente para diagnóstico e manutenção de módulos de Eletrônica veicular, ELM-32 (figura 29) foi utilizado, para coletar dados do Toyota Prius. Através da entrada OBD2/ISO, o 'scanner' pode coletar dados da Injeção Eletrônica, do Imobilizador, ABS, Air Bag, Transmissão Automática, Painel de Instrumentos e Ar Condicionado Inteligente/Arrefecimento. Ele também é capaz de consultar e limpar a memória de avarias (leitura do código de falhas), diagnóstico de sensores e elementos atuadores regulagem básica de atuadores -quando necessário-, orientação na identificação de defeitos, modo contínuo – leitura dinâmica de parâmetros do veículo.(ELECTRONICS, 2018)



Figura 29 – Scanner Automotivo ELM 32

Elmelectronics, 2018

4 Resultado e discussão

Para que os trabalhos fossem iniciados, com relação ao carro de Golfe, o mesmo foi guinchado do 'campus' UNB Ceilândia, para o galpão da UnB Gama (figura 30), onde pode-se ter uma visão geral do estado do veículo e seus componentes.



Figura 30 – Carro de golfe sendo guinchado
Autoria própria, 2018

As baterias de chumbo-ácido descarregadas (figura 31) foram levadas a uma loja especialista para avaliar se estavam funcionando corretamente, contudo não foi possível um funcionamento adequado. Baterias novas com a mesma especificação eram muito caras por se tratarem de baterias especialmente feitas para propulsão de veículos, então a equipe de competição Fórmula Gama Racing (FGR) gentilmente cedeu suas baterias.



Figura 31 – Baterias Originais, sem possibilidade de recuperação
Autoria própria, 2018

Posteriormente a isso estas baterias foram avaliadas por especialistas e constatou-se o correto funcionamento. Para colocar estas baterias no veículo tiveram que ser

feitos novos cabos com novos conectores, para isso usou-se cabos de cobre com 10 mm de espessura. Após todas as quatro baterias conectadas em série para totalizar 48V o carro de golfe andou de forma correta. Após ele andar, constatou-se que o freio não funcionava.

Foi desmontado todo o sistema de freio foi possível notar que o reservatório de fluido de freio estava quebrado, o cilindro mestre estava completamente contaminado e impossibilitado de recuperação, e existia um trecho do conduto de cobre que estava estrangulado o qual foi substituído. O cilindro mestre usado para o freio era de um trator da marca Valmet que não é mais fabricado e não tem peças de reposição, por esse motivo foi feita uma adaptação para usar um cilindro mestre de caminhão que é similar ao anteriormente utilizado.



Figura 32 – Contaminação do pistão no cilindro de freio

Autoria própria

Para que os dados do Toyota Prius fossem colhidos, fez-se necessário o uso de um 'scanner' OBD2 ELM 32 onde através dele foram colhidos dados referentes a potência e torque entregue as rodas do veículo, além do consumo específico do veículo figura 1. Estes dados foram retirados através da realização de um teste de estrada.

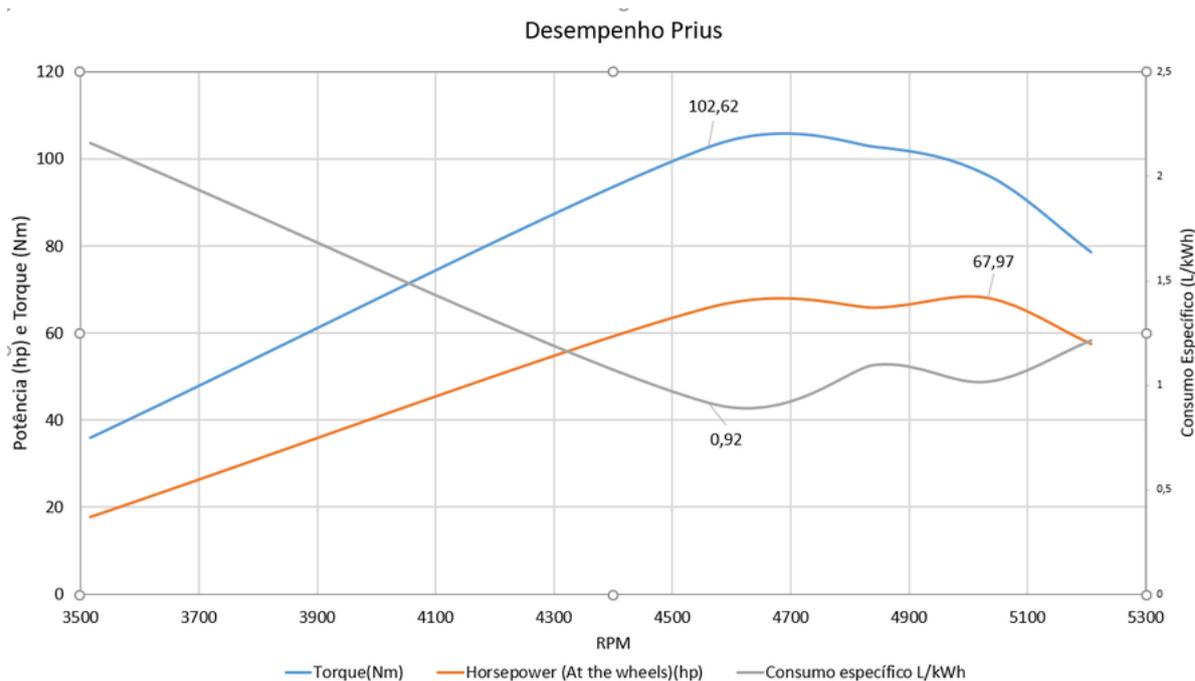


Gráfico 1 – Curvas de potência, torque e consumo específico do Toyota Prius.

Autoria Própria, 2018

Na condição de ensaio específica de teste de estrada, os resultados foram obtidos por meio do *scanner* automotivo conectado a entrada da OBD2. Desta forma nota-se que a potência máxima atingida foi de 67,97 HP a 5000 RPM, o torque máximo foi de 102,62 Nm a 4600 RPM e o consumo específico foi de 0,92 L/KWh. Contudo o ELM 32 não é especificado para veículos híbridos, assim fornecendo dados não muito eficientes.

O segundo ensaio foi feito a 35°C e a pressão barométrica de 29,84 polegadas de mercúrio. Após o veículo Toyota Prius ser devidamente amarrado sobre o dinamômetro de rolo *Dynomite*, iniciou-se a sequência de testes onde se objetivou colher a curva de torque e de potência do veículo representado pelo gráfico 33.

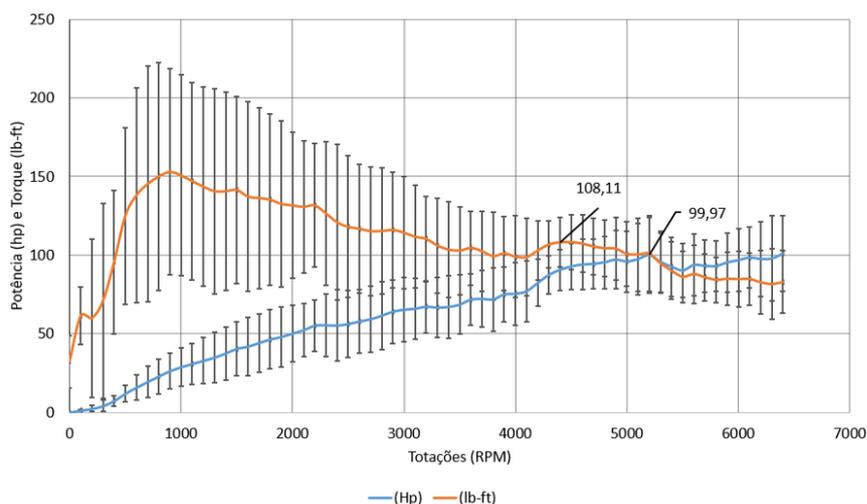


Figura 33 – Curva de torque e potência Toyota Prius.

Autoria Própria

Para este ensaio nota-se uma barra de erros grande, isso se dá pelo fato dos testes serem feitos consecutivamente e sem que houvesse intervalo suficiente para resfriar o sistema de propulsão elétrica do veículo, dessa forma diminuindo a eficiência na conversão de energia elétrica para energia mecânica. Outro ponto importante é que os testes foram feitos sem a presença do ventilador, o qual é responsável por resfriar os sistemas do carro. No 'software' fornecido para gerenciar os dados do dinamômetro, houve dificuldade para selecionar o tipo de câmbio utilizado pelo carro, uma vez que o veículo Toyota Prius é um VHE série-paralelo e utiliza o sistema de planetárias para gerir a potência entregue ao carro por cada motor.

O terceiro experimento foi feito a 33°C e a pressão barométrica de 29,84 polegadas de mercúrio e consistiu em colocar o carro de golfe no dinamômetro e adquirir os dados referentes a potência em 3 situações diferentes. No primeiro cenário o carrinho de golfe utilizou-se apenas das baterias para fornecer energia ao motor elétrico, no segundo cenário o carregador foi ligado a tomada e configurado para carregamento lento, já no terceiro cenário utilizou-se ainda do carregador, mas configurado como carregamento rápido.

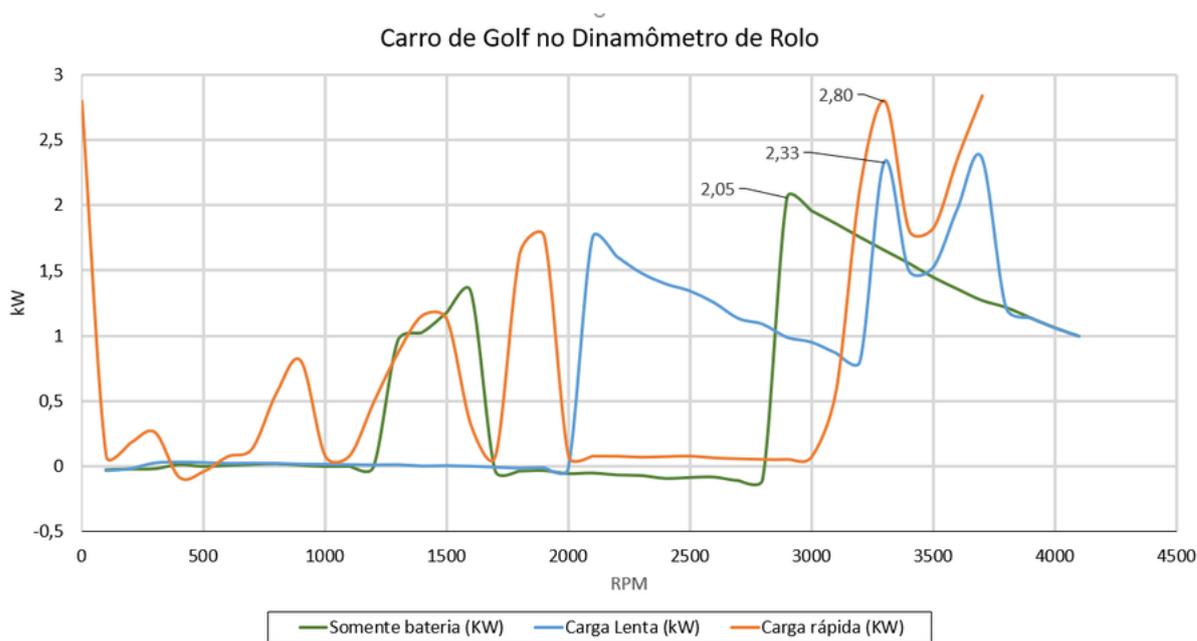


Gráfico 2 – Dados de potência carro de golf

Autoria própria

Nota-se a diferença, no gráfico 2 de potência entregue pelo sistema para o carro de golfe, isso se dá porque quando conectado a tomada, o carregador entrega a potência necessária, fazendo com que a tensão não caísse e aumentando a corrente, já a bateria, quando exigida, tem uma queda de tensão, e conseqüentemente um aumento de corrente fazendo com que a potência final entregue pelo carro de golfe seja menor. A potência entregue pelo carro de golfe com o carregador conectado a rede e na configuração carga rápida é maior porque a tensão fornecida pelo carregador para a bateria era de 54V, em oposição, o carregador conectado a rede e na configuração carga lenta fornece ao sistema 49V, já conectado ao banco de baterias o fornecido era de no máximo 48V.

Para o quarto experimento o carro de golfe foi recolocado no dinamômetro 'Dynamite' onde se objetivou a aquisição dos dados referentes a potência fornecida pelo gerador e o consumo específico de combustível. No início o gerador foi pesado com uma balança suspensa e em seguida iniciou-se os testes, onde consistiu de quatro posições diferentes do acelerador, 0%, 25%, 50% e 100% e de cada posição do acelerador foram retirados 6 dados tanto de corrente quanto de tensão. Este teste foi repetido por três vezes para termos uma triplicata e conseguir dados mais precisos.

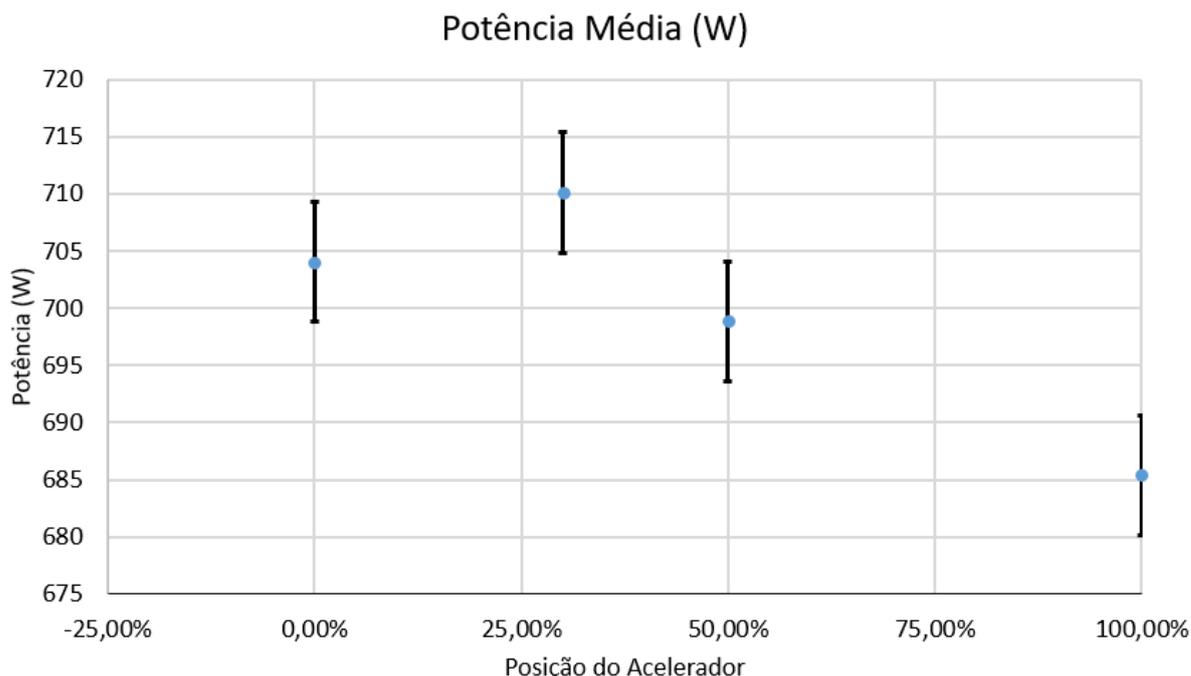


Gráfico 3 – Potência fornecida pelo carregador em diferentes posições do pedal do acelerador.

Autoria própria

O Gráfico 3 mostra a potência fornecida pelo gerador Motomil MG-950 em diferentes posições do acelerador. Dos dados acima apresentados, observa-se que mesmo que o pedal do acelerador esteja a 0%, a potência fornecida pelo gerador é de 700 a 710 W de potência, isso se dá porque o carregador exige que as baterias sejam carregadas. Para 25% do acelerador acionado, o motor-gerador forneceu de 705 a 715 W de potência, pois o carro de golfe tinha que vencer a inércia do rolo e, por isso o motor exigiu mais tensão da bateria, que por sua vez, exigiu mais potência do carregador, resultando em maior potência no gerador. A 50% do pedal de acelerador acionado, a potência exigida diminuiu porque a inércia do rolo já não era muito grande e o motor exigiu menos das baterias para conseguir manter a velocidade. A 100% do pedal de acelerador acionado o rolo do dinamômetro já acumulava maior parte do trabalho fornecido, assim sua inércia fez com que o carro de golfe gastasse menos energia para manter sua velocidade final. É importante notar que estas forças iriam alterar se o freio elétrico do dinamômetro fosse acionado para simular o arrasto aerodinâmico e compensar a inércia do rolo.

Tabela 7 – Dados de consumo realizado no carro de golfe

Dados	Valores	Unidades de medida
Tempo total de ensaio	76,4	Min
Consumo	0,62	Kg
Fluxo de combustível	0,48	kg/h
Potência média no carregador	0,69	KW
Consumo específico médio	0,69	kg/kWh
Densidade do combustível	0,73	L/kg
Consumo específico médio	0,95	L/kWh

Autoria própria, 2018

A tabela 7 mostra os dados referentes ao consumo de combustível do carro de golfe no terceiro experimento. O motor-gerador foi pesado no início e no final de cada ciclo de experimento. Foi pesado o gerador no início e no final de cada repetição do experimento. O ensaio durou no total 1h e 16 minutos, consumiu um total 0,62 kg de combustível e exigiu uma potência média do carregador de 700 kW. Considerando a densidade do combustível de 0,73L/Kg, chegou-se no consumo específico de 1L/KWh.

4.1 Comparativo dos veículos

Para que se possa fazer uma avaliação comparativa dos motores de tamanhos diferentes, Martins (2006) apresenta alguns parâmetros de funcionamento, como Pressão média efetiva (pme), Velocidade média do pistão (m/s), Potência efetiva aerial ($KW\backslash dm^2$), massa por unidade de cilindrada e consumo específico. Estes parâmetros são descritos com as seguintes fórmulas:

Pressão média efetiva (Bar) =

$$pme = \frac{\pi BT}{V_v} \quad (4.1)$$

Onde:

$$\pi = 3,1415$$

B = Binário o torque

T = numero de tempos do motor

V_v = cilindrada do motor.

Velocidade média do pistão (m/s) =

$$V_{med} = (Cons)CN \quad (4.2)$$

Onde:

Cons = 1 para motores 4 tempos; 2 para motores 2 tempos

C = Curso do pistão

N = Rotação por segundo

Potência efetiva arial (KW/dm²) =

$$W_a = p_{me} \frac{V_{med}}{T} \quad (4.3)$$

Massa por unidade de cilindrada (Kg/L) =

$$M_c = \frac{P_m}{C_c} \quad (4.4)$$

Onde:

M_c = massa do motor

C_c = cilindrada total do motor.

Consumo específico (L/KWh) =

$$Cons.esp = \frac{F_c}{P_{med}} \quad (4.5)$$

F_c = fluxo de combustível

P_{med} = Potencia media

A tabela 8 apresenta os dados de entrada para os cálculos da tabela 9 com os valores de cada parâmetro acima apresentado:

Tabela 8 – Dados para cálculos comparativos

Dados	Motor Toyota Prius	Moto-Gerador motomil	Relação entre os dados
-------	-----------------------	-------------------------	---------------------------

Dados	Motor Toyota Prius	Moto-Gerador motomil	Relação entre os dados
Número de cilindros	4	1	4
Pi	3,141	3,141	1
Peso do Veículo (kg)	1415	224	4,61
Diâmetro do Cilindro (m)	0,080	0,043	1,86
Curso do Pistão (m)	0,088	0,043	2,04
Cilindrada por cilindro (L)	0,4495	0,063	7,13
Potência do motor (kW)	50,685	2,8	18,10
Potência por cilindro (kW)	12,671	2,8	4,52
Velocidade de rotação (rpm)	5200	3600	1,44
Massa por cilindro (kg)	353,75	244	11,62
Potência por unidade de cilindrada (kW/L)	28,189	44,444	1,57
Binário (n/m)	102,62	8,83	11,62
Tempos do motor	4	2	2
Volume varrido (L)	1,798	0,063	28,53

Autoria própria, 2018

Com as fórmulas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 e com os dados da tabela acima, foram calculados os dados comparativos na tabela 9.

Tabela 9 – Dados comparativos dos motores

Dados	Motor Toyota Prius	Moto-Gerador motomil	Relação entre os dados
Pressão média efetiva (bar)	7,17	8,80	1,22
Velocidade média do pistão (m/s)	7.65	5.17	1,47

Dados	Motor Toyota Prius	Moto-Gerador motomil	Relação entre os dados
Potência específica aerial (KW/dm²)	13,72	22,78	1,66
Massa por unidade de cilindrada (Kg/L)	786,98	3555,55	4,51
Consumo específico (L/KWh)	0,92	0,95	1,03

Autoria própria, 2018

A partir da tabela 9 é possível fazer uma breve comparação entre o motor do Toyota Prius e o motor-gerador. Portanto se nota que o motor do veículo Toyota Prius, se relacionado com o motor-gerador possui:

- 2,95 vez mais velocidade média do pistão, indicando que a velocidade de entrada dos gases no motor do Toyota Prius é maior que no motor-gerador,
- 1,24 vez mais potência específica aerial, apontando que a energia fornecida por unidade de área é maior no motor do Toyota Prius é maior
- Tem massa por unidade de cilindrada 6,17 vezes menor, isso assinala que o motor do Toyota Prius tem menor peso por cilindrada.
- possui um consumo específico 1,03 vez menor.

Já o motor-gerador possui apenas a pressão média efetiva de 1,22 vezes maior, o que indica mais trabalho efetuado por volume varrido no motor.

5 Conclusão

A partir do estudo bibliográfico realizado sobre o histórico dos veículos a combustão interna, a evolução da sua participação no desenvolvimento humano e os primeiros passos da indústria automobilística para a diminuição de emissão de gases poluentes provindos da combustão, é visto que os carros híbridos e elétricos fazem e farão parte da realidade urbana.

Os estudos abordados consolidam a ideia de que a tecnologia híbrida possa ser o primeiro passo para o desenvolvimento em massa dos veículos elétricos. Contudo, alguns são os gargalos para esta tecnologia, como, por exemplo, a autonomia das baterias.

As formas de obtenção dos dados do Toyota Prius não foram eficientes, ora por falta de refrigeração e dificuldade para configurar o equipamento no teste feito no dinamômetro de rolo, ora por falta de um 'scanner' Automotivo especificado para veículos híbridos. Aconselha-se desta forma a utilização do equipamento chamado 'Performance analyze' o qual obtém dados mais confiáveis e mais precisos, pois o equipamento é conectado diretamente a roda do veículo.

Tendo como base o Veículo Toyota Prius, um veículo híbrido reconhecidamente eficiente, nota-se a na sessão 4.1 onde é feita a comparação entre o motor a combustão do Toyota Prius e o motor-gerador empregado no carro de golfe, que o motor-gerador tem características piores que o motor do veículo Toyota Prius. Esta grande diferença se dá em parte por se tratar de uma comparação feita entre um motor que funciona em ciclo 2 tempos e o outro funciona usando o ciclo 4 tempos Miller. Além disso, o motor do Toyota Prius é refrigerado a água, feito de alumínio e emprega tecnologias mais recentes.

De acordo com o exposto acima, a Hibridização do carro de golfe não atingiu patamares desejados utilizando deste motor gerador. A partir do gráfico 2, onde o carregador estava ligado diretamente a tomada, conclui-se que a potência nominal desejada para o motor-gerador fosse de 3kW.

6 Trabalhos futuros

Seguindo os dados já adquiridos neste Trabalho de Conclusão de Curso, ficam algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Encontrar um Gerador que melhor atende os parâmetros de funcionamento do carro de golfe, a partir de testes de estrada.
- Implementar uma partida eletrônica para o motor-gerador, onde ele ligará e desligará de acordo com a melhor economia de combustível.
- Avaliar a substituição das baterias de chumbo ácido por baterias de lítio-polímero.

Referências

- BACON, R. H. The motion of a piston. *American Journal of Physics*, v. 10, n. 3, p. 145 – 147, 1942.
- BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. *BNDES setorial Rio de Janeiro*, n. 33, p. 207 – 224, mar. 2011.
- BRUNETTI, F. *Motores de combustão interna*. [S.l.]: Edgard Blücher Ltda., 2012.
- DIAS, C. M. T. *Projeto e desenvolvimento de um automóvel Híbrido*. 2013. 111 p. Dissertação (Mestrado integrado em engenharia mecânica) — Universidade do Porto.
- ELECTRONICS, E. *ELM Electronics*. 2018. Disponível em: <<https://www.elmelectronics.com/products/ics/obd/>>. Acesso em: 07 de dezembro de 2018.
- FAYETTETAYLOR, C. *The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice*. 2. ed. [S.l.]: MTI Press, 1985.
- FERNANDES, D. *Por que os carros movidos a gasolina e diesel estão com os dias contados em países europeus e vários emergentes*. Paris: [s.n.], 20 de novembro de 2017. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-42046977>>. Acesso em: 30 de Novembro de 2018.
- FERRARI, B. *Toyota lança o híbrido Prius no Brasil, mas vendas começam só em 2012*. 2011. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/economia/toyota-lanca-o-hibrido-prius-no-brasil-mas-vendas-comecam-so-em-2012/>>. Acesso em: 30/06/2018.
- GOMES, M. S. G. *Emulação do Ciclo Atkinson Utilizando uma Válvula de Pistão*. 2015. 70 p. Monografia (Engenharia Mecânica) — Universidade Federal do Pampa.
- LOURENÇO, C. E. R. *Contribuição para o fabrico de motor de ciclo sobre-expandido*. 2012. 116 p. Tese (Escola de Engenharia) — Universidade de Minho.
- MAGALHÃES, B. F. de O. *Hibridação de veículo automóvel*. 2014. 158 p. Dissertação (Mestrado integrado em engenharia mecânica) — Universidade do Porto.
- MARTINS, J. *Motores de Combustão Interna*. [S.l.]: Publindústria, Edições Técnicas, 2006.
- MARTINS, J.; RIBEIRO, B. S. Desenvolvimento do conceito de motor sobre-expandido - análise teórica, numérica e experimental. In: *8º congresso iberoamericano de engenharia mecânica*. [S.l.: s.n.], 2007.
- MILHOR, C. E. *Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna*. 2002. 101 p. Dissertação (Engenharia Mecânica) — Universidade de São Paulo.
- NOCE, T. *Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuição ao seu aperfeiçoamento*. 2009. 129 p. Monografia (Engenharia Mecânica) — Universidade Católica de Minas Gerais.
- SILVA, V. P. R.; SILVA, V. C. G. Polímeros com condutividade iônica: desafios fundamentais e potencial tecnológico. *Polímero: Ciência e tecnologia*, v. 15, n. 4, 2005.

VARELA, H. et al. Materiais para cátodos de baterias secundárias de lítio. *Química Nova*, v. 25, n. 2, p. 287 – 299, 2002.

Anexos

ABNT NBR 16567:2016

Tabela 1 (continuação)

Símbolo e abreviatura	Descrição
NHV _{comb}	energia interna do combustível
NOx	óxidos de nitrogênio
R _{CDa}	distância efetiva de redução de carga
R _{CDc}	distância teórica de redução de carga
RD	dependente de recarga
RESS	sistema recarregável de armazenamento de energia
RI – in	independente de recarga
SOC	nível ou estado de carga do RESS
UF	fator de utilização
VE	veículo elétrico
VEH	veículo elétrico híbrido
VEHP	veículo elétrico híbrido recarregável ("plug-in")

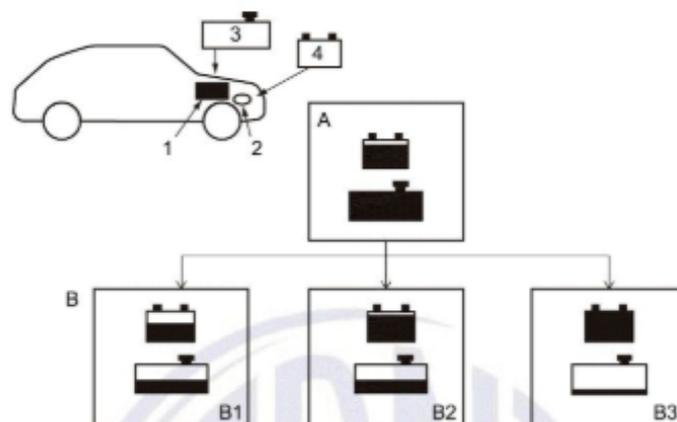
5 Procedimentos de ensaio

Os procedimentos de ensaio definidos nesta Norma complementam os procedimentos das ABNT NBR 6601 e ABNT NBR 7024.

5.1 Princípio

Nos VEH com motor de combustão interna, as medições de emissão e de consumo de combustível são essencialmente as mesmas dos veículos convencionais, entretanto, a energia interna do sistema de armazenagem (RESS) no final do ensaio pode ser diferente da inicial. Esta variação deve ser limitada mediante às considerações adicionais para o cálculo correto do consumo energético e das emissões correspondentes, especificadas nesta Norma, inclusive a interpolação linear descrita no Anexo B. A Figura 3 indica as correções que devem ser introduzidas como descrito neste método.

ABNT NBR 16567:2016



Legenda

- | | | | |
|---|-----------------------|----|---|
| 1 | motor de combustão | A | condição antes do ensaio |
| 2 | motor elétrico | B | condição depois do ensaio |
| 3 | tanque de combustível | B1 | condução por combustível e por energia elétrica |
| 4 | bateria/capacitor | B2 | combustível usado somente para a condução |
| | | B3 | combustível adicional usado para carga da bateria |

Figura 3 – Quantidades de energia antes e depois do ensaio

NOTA 1 VEHP exigem ambos os ensaios no modo de redução de carga e no modo de carga sustentada, enquanto que VEH não recarregáveis só exigem o ensaio de carga sustentada. Para os VEHP, os resultados obtidos no regime de redução de carga são combinados com os obtidos com sustentação de carga, de acordo com as estimativas de distância entre as recargas e as distâncias dirigidas diariamente.

NOTA 2 Se o VEH possuir capacidade de recarga por fonte externa, mas esta capacidade for somente para fins de condicionamento eventual do RESS e não for recomendada ao usuário para uso rotineiro, então o VEH não é considerado como um VEHP.

5.2 Aparelhagem

5.2.1 Dinamômetro

Os dinamômetros usados em ensaios de VEH devem ter suas capacidades especificadas na ABNT NBR 6601, incluindo a capacidade de controlar dinamicamente a carga de inércia durante o procedimento, devendo ser calibrados, aquecidos e operados segundo a ABNT NBR 6601.

NOTA Procedimentos de ensaio em dinamômetro elétrico de um rolo são especificados preferencialmente, para minimizar variações entre ensaios em pista e obedecer a práticas industriais padronizadas para as medições de emissões de gases de escapamento e de consumo de combustível.

5.2.1.1 Configurações do dinamômetro

Os dinamômetros usados no ensaio de VEH devem ser configurados como especificado na ABNT NBR 6601, sendo preferencialmente do tipo elétrico de rolo simples de 48". Se o VEH possuir tração nas quatro rodas, este deve ser ensaiado em um dinamômetro para tração nas quatro rodas.

ABNT NBR 16567:2016

Na indisponibilidade de dinamômetro para tração nas quatro rodas, veículos com tração nas quatro rodas podem ser ensaiados em um modo de operação de tração em duas rodas ou, opcionalmente, modificados pelo fabricante para que um dos eixos seja desacoplado, se aplicável.

5.2.1.2 Freagem aumentada do dinamômetro

A função de freagem aumentada do dinamômetro (se houver) deve ser desligada durante ensaios de VEH ou VEHP, pois ela interfere no funcionamento apropriado da freagem regenerativa nesses veículos e pode causar impacto desfavorável no benefício de freagem regenerativa nos ensaios de veículos híbridos.

5.2.1.3 Determinação do coeficiente de carga do dinamômetro

Os coeficientes do dinamômetro que simulam as forças de resistência total ao rolamento devem ser determinados como especificado na ABNT NBR 10312, com os seguintes requisitos adicionais:

- a) veículos equipados com sistemas de freagem regenerativa que são acionados somente pelo pedal de freio não podem exigir ações especiais para ensaios de desaceleração natural (*coast down*), tanto na pista de ensaios quanto no dinamômetro;
- b) veículos equipados com sistemas de freagem regenerativa que sejam acionados pelo menos parcialmente quando o pedal de freio não estiver sendo pressionado deve ter a freagem regenerativa desativada durante a desaceleração do ensaio de *coast down*, tanto na pista de ensaios quanto no dinamômetro, preferencialmente por meio do uso de uma marcha neutra sem freagem regenerativa ativa ou por meio de mudanças temporárias de *software* no sistema de controle do veículo. Alterações mecânicas no veículo para desativar a freagem regenerativa (como a remoção do eixo) são desaconselhadas. Entretanto, se este recurso for imprescindível, devem ser tomadas todas as precauções de segurança durante a operação do veículo, e estas modificações mecânicas devem ocorrer tanto na pista de ensaios quanto no dinamômetro. Métodos para acelerar um veículo sem um eixo de transmissão tanto na pista de ensaios quanto no dinamômetro devem ser determinados pelo fabricante e não podem influir nas características que afetem os resultados de emissões, consumo e desempenho do veículo;
- c) se o veículo não possuir um ponto neutro mecânico, o fabricante deve indicar procedimentos e métodos de cálculo para a determinação da resistência total ao rolamento que considerem corretamente a possibilidade de que uma quantidade significativa de inércia rotacional (possivelmente 5 % ou mais da massa do veículo) não seja reduzida em relação a veículos mais convencionais.

5.2.2 Aparelhagem de análise de gases

Os equipamentos e sistemas exigidos para medições devem ser os mesmos mencionados na ABNT NBR 6601 para amostragem e análise de emissões de gases de escapamento. Todas as medições devem ser rastreáveis.

5.2.3 Aparelhagem complementar

Os seguintes instrumentos de laboratório são exigidos para uso, quando adequado.

5.2.3.1 Medidor DC de banda larga

O medidor DC de banda larga exigido para a medição de tensão (V), de corrente (A) e de energia (Wh) deve ser conectado diretamente ao RESS de maneira a medir a totalidade da corrente de entrada e saída no RESS, sem outras conexões antes do ponto de medição. Medidores de capacidade em

ABNT NBR 16567:2016

ampère hora (Ah), que usem técnicas de integração devem possuir um período de integração inferior a 0,05 s, para que mudanças abruptas de corrente possam ser acomodadas sem introduzir erros significativos de integração. A exatidão total de medições de corrente deve ser $\pm 1\%$ da leitura. Os instrumentos não podem ser suscetíveis a erros de defasagem na medição de corrente, pois desencontros mínimos entre corrente e tensão podem ser integrados ao longo do ciclo e fornecer resultados errados para a NEC.

5.2.3.2 Medidor de capacidade de banda larga DC

Se a detecção de tensão não estiver disponível, deve-se medir opcionalmente a capacidade em ampères-hora (Ah) sem detectar a tensão diretamente. Neste caso, a tensão deve ser monitorada e registrada a partir dos dados coletados no ponto de acesso à rede do veículo.

5.2.3.3 Voltímetro

Usado para medir a tensão do capacitor quando aplicável.

5.2.3.4 Instrumento para medir a velocidade angular

Usado para medir a velocidade angular do volante eletromecânico ou outro(s) parâmetro(s) característico(s) que permita(m) estimar a energia interna do RESS.

5.2.3.5 Medidor de energia AC

Usado para medir a energia de recarga AC (Wh), se aplicável. Deve ser instalado de maneira a medir a energia elétrica AC total absorvida pelo carregador. O medidor de watt-hora AC deve possuir precisão total de 1% ou melhor.

5.2.3.6 Equipamentos adicionais recomendados

Os equipamentos adicionais podem ser utilizados:

- a) um meio de verificar e registrar a operação do motor para determinar a distância percorrida no dinamômetro antes da partida inicial do motor;
- b) voltímetro para uso geral quando necessário;
- c) amperímetro para uso geral quando necessário.

A precisão de cada instrumento deve ser como especificada nas ABNT NBR 6601, ABNT NBR 7024, ABNT NBR 8689, ABNT NBR 10312 e SAE J1634:2012, quando aplicável.

5.2.4 Local para ensaio

O local de ensaios deve ter capacidade e segurança adequadas para a ventilação e refrigeração de baterias, contenção para volantes, proteção contra exposição à alta-tensão, ou qualquer outra precaução de segurança necessária que deve ser fornecida durante ensaios e recargas externas. Os requisitos de 5.2.1 e 5.3.2 também devem se aplicar a todos os ensaios definidos nesta Norma. Para outras condições de ensaio não tratadas especificamente nesta Norma, devem ser aplicadas as condições especificadas na ABNT NBR 6601, quando apropriado.

ABNT NBR 16567:2016

5.3 Amostras para ensaio

5.3.1 Classificação

Para a escolha correta das opções dos ensaios desta Norma, o veículo deve ser classificado de acordo com os seguintes requisitos.

5.3.1.1 Dependente de recarga (RD)

Classificação que descreve um veículo específico ou modo de operação selecionado pelo motorista em um VEHP, no qual uma ou ambas as condições a seguir ocorrem enquanto nenhum outro modo for selecionado:

- a) a propulsão do veículo torna-se eventualmente impossível se o RESS não for recarregado por uma fonte externa de energia elétrica, mesmo que o suprimento de combustível consumível seja reabastecido continuamente;
- b) o motorista é avisado ou instruído pelo veículo a interromper a condução neste modo de operação, pois o RESS contém pouco suprimento de energia.

Os modos de operação puramente elétrico (VE), sem acionamento automático do motor de combustão ou do sistema híbrido em VEHP, são sempre considerados RD. No mesmo VEH, é possível que um modo de operação seja classificado como RD e outro não.

NOTA O escopo desta Norma não compreende a operação RD do VEHP.

5.3.1.2 Independente de recarga (RI)

Classificação que descreve um veículo específico ou modo de operação selecionado pelo motorista no qual ambas as condições a seguir ocorrem enquanto nenhum outro modo for selecionado:

- a) a propulsão do veículo é continuamente possível com o reabastecimento de combustível consumível, mesmo que o RESS nunca seja recarregado por uma fonte externa de energia elétrica e
- b) o motorista nunca é advertido ou instruído a interromper a condução neste modo de operação, mesmo se o RESS contiver um suprimento muito baixo de energia. Um exemplo de modo de operação RI é quando a propulsão do veículo ainda seja possível, mesmo que o RESS esteja totalmente sem energia útil. Também, em um VEH que não seja recarregável externamente e opere em CS, todos os modos de operação são considerados RI, independentemente do fato da propulsão do veículo ser ou não possível antes de uma recarga ou de o motorista alguma vez ser alertado a interromper a condução, como descrito na definição do veículo dependente de recarga.

5.3.2 Condição do veículo

Condições estabelecidas pelas ABNT NBR 6601 e ABNT NBR 7024, complementadas por esta Norma.

5.3.2.1 Estabilização do veículo

Antes do ensaio, o veículo de ensaio deve ser preconditionado como especificado nas ABNT NBR 6601 e ABNT NBR 7024, inclusive o acúmulo de quilometragem do veículo a uma distância determinada pelo fabricante ou 3 000 km (de acordo com a regulamentação vigente). Veículos para os quais for recomendada a recarga externa regularmente devem ter seu RESS recarregado completamente pelo

ABNT NBR 16567:2016

menos uma vez entre cada reabastecimento de combustível consumível. Entretanto, a frequência de recarga para o RESS não pode ser maior do que a prevista para o uso normal do veículo, recomendada pelo fabricante ao usuário.

5.3.2.2 Acessórios do veículo

Os veículos devem ser ensaiados com os acessórios normais (por exemplo, retrovisores, para-choques etc.). Certos itens, como calotas, podem ser removidos quando necessário, para segurança no dinamômetro.

5.3.2.3 Condicionamento de pneus

Os pneus devem possuir pelo menos 50 % da profundidade original remanescente das ranhuras, sendo recomendável que o pneu possua um mínimo acumulado de 100 km.

5.3.2.4 Lubrificantes

Devem ser usados os lubrificantes normalmente especificados pelo fabricante do veículo para uso normal.

5.3.2.5 Modo de operação do veículo

A escolha dos modos de operação como definido em 3.7.1, deve ser o de uso mais frequente ou o recomendado pelo fabricante ao usuário.

NOTA O método descrito nesta Norma é aplicável a qualquer modo de operação disponível no veículo.

5.3.2.6 Frenagem regenerativa

Se o veículo possuir frenagem regenerativa, este sistema deve ser ativado para todos os ensaios em dinamômetro (com exceção do ensaio preparatório, descrito em 5.2.1.3). Dependendo de como a frenagem regenerativa for combinada com o sistema de freio de rodas (fricção), o modo mais exato de contabilizar o efeito da frenagem regenerativa é ensaiar o veículo em um dinamômetro elétrico para tração nas quatro rodas. Entretanto, é permitido o ensaio em dinamômetro para tração em duas rodas desde que o fabricante declare que esta prática não altera de maneira significativa as contribuições da frenagem regenerativa nos resultados finais. Para a avaliação do veículo no modo de operação somente MCI, o freio regenerativo é desabilitado.

5.3.2.7 Controle de tração

Se o veículo for equipado com um Sistema de Freios Antiblocante (ABS) ou um Sistema de Controle de Tração (TCS) e for ensaiado em um dinamômetro para tração em duas rodas, o ABS ou TCS do veículo pode inadvertidamente interpretar a ausência de movimento no eixo que está fora do dinamômetro como um sistema com mau funcionamento. Se isso ocorrer, modificações no ABS ou no TCS devem ser feitas para assegurar operação normal dos sistemas remanescentes do veículo, incluindo o auxílio de motor elétrico, partida-desligamento do motor, e sistema de frenagem regenerativa. Este procedimento deve ser definido pelo fabricante, preferencialmente acessível por um comando como "modo de teste", e não pode influir nas características que afetem os resultados de emissões, consumo e desempenho do veículo.

ABNT NBR 16567:2016

5.3.3 Condição do sistema de armazenamento de energia (RESS)**5.3.3.1 Estabilização do RESS**

O RESS deve ser estabilizado pelo próprio veículo, como definido em 5.3.2.1 ou por condicionamento equivalente. No caso em que um ciclo de estabilização diferente do especificado em 5.3.2.1 seja necessário, é responsabilidade do fabricante do veículo demonstrar que o ciclo usado é equivalente em sua capacidade de estabilizar o RESS.

5.3.3.2 Recarga externa

Caso o veículo for equipado com um carregador, este deve ser usado para todas as recargas externas do RESS. Caso contrário, o RESS deve ser recarregado com o carregador externo recomendado pelo fabricante do veículo. Se níveis múltiplos de potência de recarga forem aceitáveis, o RESS deve ser recarregado com o maior nível de potência que ele é capaz de suportar. Por exemplo, se o veículo puder se conectar à alimentação de 110 V/15 A ou 220 V/30 A, a alimentação 220 V/30 A deve ser utilizada para recarga. O período de recarga inclui o tempo de quando o veículo é conectado pela primeira vez até quando este é finalmente desconectado da alimentação de energia externa ao veículo elétrico.

O carregador deve indicar carga completa em um indicador de fácil leitura em algum lugar do veículo ou nas conexões do carregador. O nível deve ser indicado ao técnico de ensaios do veículo e também ter repetitividade de um ensaio para outro para assegurar cálculos precisos e confiáveis de consumo de energia AC em kWh.

5.3.3.3 Falha do RESS

Caso o RESS esteja danificado ou apresente capacidade de armazenamento de energia abaixo da capacidade nominal especificada pelo fabricante, o RESS deve ser reparado ou substituído e estabilizado novamente de acordo com 5.3.3.1. O procedimento de ensaio deve ser repetido. Os resultados de ensaios com o RESS com falhas devem ser considerados inválidos.

5.4 Condução do veículo**5.4.1 Forma de dirigir**

As mudanças de marcha durante o ensaio devem ser realizadas de acordo com as recomendações do fabricante ao usuário, desde que estas sejam representativas das condições de uso normal, e o veículo deve ser dirigido com o acionamento apropriado do pedal do acelerador para seguir, tão próximo quanto possível, a curva nominal de velocidade-tempo estabelecido no ciclo de condução. A suavização de variações de velocidade e as perturbações excessivas do pedal de aceleração devem ser evitadas.

NOTA A forma de dirigir possui efeito significativo sobre os resultados de emissões e/ou economia de combustível.

5.4.2 Violações de tolerância de velocidade

Nos ensaios CST, velocidades que violem a tolerância definida na ABNT NBR 6601 invalidam o ensaio.

Nos ensaios FCT com muitos ciclos exigidos, os critérios para um FCT válido devem ser reduzidos para menos de uma violação a cada dois ciclos (arredondados para menos de 0,5). Todas as violações de velocidade devem ser registradas.

ABNT NBR 16567:2016

Raras excursões de velocidade que excedam a tolerância definida na ABNT NBR 6601 são aceitáveis para procedimentos FCT em que sejam exigidos muitos ciclos, se decorrentes de variabilidade do motorista. O critério para um FCT válido é: menos de um período de 2 s com uma tolerância expandida inferior a $\pm 6,8$ km/h, por ciclo de ensaio CCU ou CCE. Violações para deslizamento de pneus nas trocas de marcha e frenagens bruscas são aceitáveis desde que sejam inferiores a 2 s e registradas indicando o tempo e a velocidade em que ocorreram. A forma de dirigir não pode apresentar tendências sistemáticas que favoreçam ou desfavoreçam os resultados do ensaio.

NOTA Uma única violação não invalidará todo o FCT que tenha três ciclos, por exemplo, mas duas violações sim. Similarmente, 2/5, 3/7 etc., são aceitáveis.

5.5 Ensaios de emissão de gases de escapamento e consumo de combustível

Há dois ensaios de emissão de gases de escapamento e consumo de combustível descritos nesta Norma. O primeiro é o ensaio com carga sustentada (CST) que considera os modos de operação contínua e se aplica a todos os tipos de VEH. O segundo é o ensaio com carga completa (FCT), iniciado com o RESS totalmente carregado para contemplar os modos de operação no modo de redução de carga (CD), utilizado apenas para VEHP. Os ensaios CST e FCT são descritos de maneira mais detalhada em 5.5.1 e 5.5.2, respectivamente, considerando os ciclos de condução urbana e estrada.

5.5.1 Ensaios em carga sustentada (CST)

Destinam-se apenas à operação do VEH no modo de carga sustentada (CS), nos ciclos de condução desejados, e são aplicáveis a todos os tipos de VEH, inclusive os VEHP simulando a sua operação após o percurso no regime de CD (após a descarga do RESS), quando o veículo passa a operar em regime de CS.

As condições de ensaio são fornecidas a seguir para a condução do ensaio no ciclo urbano (ver 5.5.1.2) e em estrada (ver 5.5.1.3).

Quando houver modos de operação separados para seleção do motorista (por exemplo, "ECO", "Power" etc.), os procedimentos podem ser repetidos para cada modo ensaiado e os resultados atribuídos aos mesmos separadamente. Se a seleção não for discreta, deve-se usar a boa prática de engenharia para determinar o modo de operação no ensaio específico.

5.5.1.1 Resultados do ensaio

As seguintes informações constituem os resultados deste ensaio:

- a) emissões de gases de escapamento e consumo de combustível do VEH medidas durante cada fase do ensaio nas quais as medições forem requeridas;
- b) distância efetiva percorrida pelo veículo sobre a superfície do rolo do dinamômetro medida durante cada fase do ensaio nas quais as medições forem requeridas;
- c) energia interna do RESS ou SOC registrado no início e ao final de cada fase do ciclo de ensaio, na qual uma única amostra de gases é retirada, usando a aparelhagem descrita em 5.2, para calcular a NEC de cada fase do ensaio necessária para determinar os critérios de tolerância da NEC e validação do ensaio. É recomendável não dividir o ciclo urbano em duas fases se o equipamento de amostragem o permitir.

ABNT NBR 16567:2016

5.5.1.2 Procedimento de ensaio em carga sustentada (CST) no ciclo urbano

Este ensaio deve ser conduzido de acordo com as condições de ensaio descritas em 5.2.4, os requisitos de aparelhagem para ensaio de 5.2, e os requisitos em 5.5.1.2.1 a 5.5.1.2.11. Entretanto, as ABNT NBR 6601 e ABNT NBR 7024 devem ser seguidas para quaisquer requisitos não detalhados especificamente nesta Norma, no que for apropriado.

5.5.1.2.1 Precondicionamento do veículo

O veículo deve ser precondicionado no modo de operação selecionado pelo motorista no qual ele será ensaiado e em níveis de SOC compatíveis com CS (ver 5.3.2.1, 5.3.2.5 e Anexo C). O precondicionamento do veículo está sujeito aos requisitos da ABNT NBR 6601, que inclui drenagem e abastecimento do tanque de combustível, purga e carregamento do *canister*, utilização do ciclo de condução urbana e uma estabilização de 12 h a 36 h. Um ou mais ciclos urbanos de precondicionamento do veículo podem ser desempenhados para assegurar o melhor atendimento aos critérios de tolerância de NEC (variações de SOC devem ser minimizadas, sendo preferencialmente positivas).

5.5.1.2.2 SOC inicial

Após o precondicionamento e antes do veículo ser colocado para estabilização de temperatura (pausa de 12 h a 36 h), o SOC do RESS deve ter atingido (ou, se possível, ajustado para) um valor de $SOC_{U_{inicial}}$ que se repita como $SOC_{U_{final}}$ depois do VEH percorrer os dois ciclos urbanos (consultar o Anexo C para cálculos sobre SOC). Entretanto, se o único modo de ajustar o SOC for por meio da operação do veículo e o $SOC_{U_{inicial}}$ desejado não for atingido no final do precondicionamento, quaisquer ajustes adicionais de SOC devem ser feitos após o precondicionamento do veículo e imediatamente antes do período de estabilização começar.

5.5.1.2.3 Energia inicial e final do RESS

As voltagens V_i e V_f da bateria e/ou do capacitor (ou as velocidades angulares inicial e final, no caso de volantes eletromecânicos, ou ainda outros parâmetros para o cálculo em sistemas diferentes dos especificados nesta Norma) devem ser registradas para a estimativa do SOC no início e ao final de cada ciclo de condução. Em ensaios não oficiais, se estes parâmetros não forem medidos diretamente, estas informações podem ser adquiridas da rede de comunicação do veículo.

5.5.1.2.4 Colocação do veículo em posição

Depois da estabilização de 12 h a 36 h e com o RESS no SOC apropriado ($SOC_{U_{inicial}}$), o veículo deve ser movido (empurrado ou rebocado – sem funcionar por seus próprios meios e sem ligar o sistema para evitar variações de SOC) para a posição no dinamômetro e seguramente fixado. A transmissão deve estar em uma condição “fria” no início deste ensaio; portanto, o veículo não pode ser deslocado por mais de 1,6 km entre o período de estabilização e o início deste ensaio. Em distâncias superiores a 1,6 km, deve ser usado um dispositivo que suspenda as rodas motrizes durante a sua movimentação.

5.5.1.2.5 Partidas do sistema de propulsão

O sistema de propulsão do veículo deve partir de acordo com os procedimentos de inicialização recomendados pelo fabricante no manual do proprietário. Os requisitos das ABNT NBR 6601 e ABNT NBR 7024 devem se aplicar para as partidas, mas com as palavras “sistema de propulsão” aplicadas genericamente em lugar da palavra “motor”.

5.5.1.2.6 Procedimento de condução no dinamômetro

Assim que o sistema de propulsão do veículo tiver sido inicializado, o veículo deve ser conduzido ao longo de dois ciclos urbanos completos com um período intermediário de estabilização de (10 ± 1) min com o comutador desligado entre os dois ciclos. As emissões de escapamento em cada ciclo urbano completo devem ser coletadas.

ABNT NBR 16567:2016**5.5.1.2.7 Detalhes da pausa entre ciclos**

Durante a pausa de (10 ± 1) min para a estabilização entre os dois ciclos urbanos, o veículo deve permanecer com o comutador de ignição na posição "desligado", o capô fechado, o ventilador das células de ensaio desligado, o pedal de freio não pressionado, e o RESS não pode ser recarregado por uma fonte de energia elétrica externa. A instrumentação para a medição do SOC deve permanecer ligada e não pode ser reinicializada durante a pausa entre os ciclos. No caso de medição por medidor de capacidade, expressa em ampères-hora, a integração deve permanecer ativa ao longo de todo o ensaio até que o mesmo seja concluído.

5.5.1.2.8 Medições e amostragem de emissões

As emissões e a distância efetiva percorrida sobre o rolo do dinamômetro devem ser medidas durante os dois ciclos urbanos. Embora duas amostras sejam coletadas em volume constante (CVS) ou por um "mini bag diluter" em duas fases consecutivas para cada ciclo nos veículos convencionais, para o CST-VEH é recomendada a realização de somente uma amostragem durante cada ciclo urbano completo (1 372 s cada) e, portanto, conduzir o CST-VEH em um local de ensaios dimensionado para essa capacidade. Coletar duas amostras durante cada ciclo (uma na fase 1 até 505 s e outra na fase 2 até 1 372 s) é uma opção aceitável para o CST-VEH, entretanto, o tempo para analisar e purgar os sacos de amostragem não pode causar a violação da exigência de pausa entre os ciclos de condução e o sistema de amostragem deve permitir a coleta de quatro amostras.

5.5.1.2.9 Conclusão do ensaio

Este ensaio deve chegar ao final quando completadas os dois ciclos urbanos completos.

5.5.1.2.10 Validação do ensaio

Este ensaio é considerado inválido se a diferença entre $SOC_{u\text{final}}$ e $SOC_{u\text{inicial}}$ violar a tolerância de NEC do SOC (consultar as equações finais para ΔSOC no Anexo C para saber as tolerâncias para baterias, capacitores e volantes eletromecânicos).

5.5.1.2.11 Recarga do RESS após o ensaio

Este ensaio não permite a recarga do RESS após o ensaio, até que sejam terminados todas as repetições e ciclos necessários.

5.5.1.3 Procedimento de ensaio em carga sustentada (CST) no ciclo estrada

Este ensaio deve ser conduzido de acordo com as condições de ensaio descritas em 5.2.4, os requisitos de aparelhagem para ensaio de 5.2, e os requisitos dos itens 5.5.1.3.1 a 5.5.1.3.11. Entretanto, a ABNT NBR 7024 deve ser seguida para quaisquer requisitos não detalhados especificamente nesta Norma, no que for apropriado.

5.5.1.3.1 Precondicionamento do veículo

O veículo deve ser precondicionado no modo de operação selecionado pelo motorista no qual este é ensaiado (ver 5.3.2.1, 5.3.2.5 e Anexo C). O precondicionamento deve estar de acordo com os requisitos da ABNT NBR 7024, que inclui a condução ao longo de um ciclo urbano e uma estabilização de 0 h a 3 h seguido de pelo menos um ciclo estrada para assegurar o melhor atendimento aos critérios de tolerância de NEC (variações de SOC devem ser minimizadas, sendo preferencialmente positivas).

ABNT NBR 16567:2016

5.5.1.3.2 SOC inicial

Após o condicionamento completo do veículo descrito em 5.5.1.3.1 (se houver), o SOC do RESS pode ser ajustado para $SOCh_{inicial}$, buscando-se a igualdade do $SOCh_{pausa}$ e o $SOCh_{final}$ (consultar o Anexo C para terminologia de SOC). É aceitável que este ajuste seja feito operando-se o veículo por um ciclo estrada antes do início do ensaio. O desafio para manter um SOC nivelado ao longo do segundo ciclo estrada é escolher o valor correto para $SOCh_{inicial}$. Entretanto, além deste desafio, a intenção deste ensaio também é que o veículo seja condicionado adequadamente por meio da operação do motor no primeiro ciclo estrada. Portanto, na escolha do SOC inicial, é recomendado (mas não exigido) que o $SOCh_{inicial}$ seja igual ou menor que o $SOCh_{pausa}$ para assegurar que a contribuição do RESS para a propulsão do veículo durante o primeiro ciclo estrada seja minimizada.

5.5.1.3.3 A energia inicial e final do RESS

É recomendável que as voltagens V_i e V_f da bateria e/ou do capacitor (ou as velocidades angulares inicial e final, no caso de volantes eletromecânicos, ou ainda outros parâmetros para o cálculo em sistemas diferentes dos especificados nesta Norma) sejam registradas para a estimativa do SOC no início e ao final de cada ciclo de condução. Em ensaios não oficiais, se estes parâmetros não forem medidos diretamente, estas informações podem ser adquiridas da rede de comunicação do veículo.

5.5.1.3.4 Colocação do veículo em posição

Depois da estabilização de até 03 h, o veículo deve ser movido (empurrado ou rebocado – sem funcionar por seus próprios meios e sem ligar o sistema para evitar variações de SOC) para a posição no dinamômetro e seguramente fixado.

5.5.1.3.5 Partida do sistema de propulsão

O sistema de propulsão do veículo deve ser inicializado de acordo com os procedimentos de partida recomendados pelo fabricante no manual do proprietário. Os requisitos da ABNT NBR 7024 devem se aplicar para inicialização e reinicialização, mas com as palavras "sistema de propulsão" aplicadas genericamente em lugar da palavra "motor".

5.5.1.3.6 Procedimento de condução no dinamômetro

Assim que o sistema de propulsão do veículo tiver sido acionado, este deve ser conduzido ao longo de dois ciclos estrada pelo menos.

5.5.1.3.7 Pausa entre os ciclos

Entre os dois ciclos estrada, deve haver uma pausa de 15 s, que deve ocorrer em velocidade nula, com o comutador de ignição na posição "ligado", o pedal de freio pressionado, e o RESS não pode ser recarregado por uma fonte externa de energia elétrica. A instrumentação de SOC não pode ser desligada ou reajustada para zero durante a pausa entre os ciclos. No caso de medição com medidor de capacidade, expressa em ampères-hora (Ah), a integração deve permanecer ativa ao longo de todo o ensaio até que este seja concluído.

5.5.1.3.8 Amostragem e medição de emissões

As emissões de gases de escapamento e a distância efetivamente percorrida sobre o rolo do dinamômetro devem ser medidas somente durante o segundo ciclo estrada. O primeiro ciclo estrada atua como um ajuste adicional do condicionamento do veículo, durante o qual essas medidas não são requeridas, mas podem ser realizadas.

ABNT NBR 16567:2016**5.5.1.3.9 Conclusão do ensaio**

Este ensaio estará concluído quando os dois ciclos estrada forem completados.

5.5.1.3.10 Validação do ensaio

Este ensaio é considerado inválido se a diferença entre $SOCh_{final}$ e $SOCh_{pausa}$ violar a tolerância de NEC do SOC (consultar as equações finais para ΔSOC no Anexo C para as tolerâncias para baterias, capacitores e volantes eletromecânicos).

5.5.1.3.11 Recarga do RESS após o ensaio

Este ensaio não permite a recarga do RESS após a sua condução, até que sejam terminados todas as repetições e ciclos necessários.

5.5.2 Ensaio de carga completa (FCT)

Destinam-se apenas à operação de VEHP em regime de redução de carga (CD), nos ciclos de condução desejados. O FCT deve ser conduzido utilizando uma sequência de vários ciclos de condução até que o RESS atinja o regime de sustentação de carga (CS) de forma estável. Após o FCT, o VEHP deve prosseguir com o ensaio CST descrito em 5.5.1, utilizando o mesmo ciclo de condução.

As condições para a condução deste ensaio no ciclo urbano são fornecidas em 5.5.2.2 e, no ciclo estrada, em 5.5.2.3.

Quando houver modos de operação separados para seleção do motorista (por exemplo, "ECO", "Power" etc.), os procedimentos podem ser repetidos para cada modo e os resultados atribuídos a estes separadamente. Se a seleção não for discreta, deve-se usar a boa prática de engenharia para determinar o modo de operação no ensaio específico.

5.5.2.1 Resultados do ensaio

As seguintes informações constituem os resultados do ensaio FCT:

- a) emissões de gases de escape e economia de combustível do VEH medidas durante cada ciclo de condução (ou fase em que for apropriada) nas quais essas medições forem requeridas.
- b) distância efetiva percorrida pelo veículo sobre superfície do rolo do dinamômetro medida durante cada ciclo de ensaio (ou fase em que for apropriada) nas quais essas medições forem requeridas.
- c) energia total de recarga AC medida enquanto o RESS está sendo recarregado, depois da finalização do ensaio completo no dinamômetro, fornecida enquanto o carregador estiver plugado na rede elétrica e registrada em watt-hora (Wh).
- d) energia interna do RESS ou SOC registrado no início e ao final de cada ciclo de condução do FCT (exemplo, para baterias eletroquímicas, leituras de ΔAh).
- e) consumo de energia elétrica DC ou o valor líquido de Wh DC medido durante cada ciclo de condução. Se a tensão não for medida diretamente, utilizar um método de cálculo apropriado.
- f) energia inicial e final do RESS ou as voltagens V_i e V_f da bateria e/ou do capacitor ou as velocidades angulares inicial e final, no caso de volantes eletromecânicos, ou ainda outros parâmetros para o cálculo em sistemas diferentes dos especificados nesta Norma, registrados para a estimativa do SOC no início e ao final de cada ciclo de condução. Em ensaios não oficiais, se estes parâmetros não forem medidos diretamente, estas informações podem ser adquiridas da rede de comunicação do veículo.

ABNT NBR 16567:2016

5.5.2.2 Procedimento de ensaio com carga completa (FCT) no ciclo urbano

Este ensaio deve ser conduzido de acordo com as condições descritas em 5.2.4, os requisitos de aparelhagem em 5.2, e os requisitos em 5.5.2.2.1 a 5.5.2.2.10. Entretanto, as ABNT NBR 6601 e ABNT NBR 7024 devem ser seguidas para quaisquer requisitos de procedimento não detalhadas especificamente nesta Norma, quando apropriado.

5.5.2.2.1 Precondicionamento do veículo

O veículo deve ser precondicionado no modo de operação selecionado pelo motorista no qual o veículo é ensaiado e em níveis de SOC compatíveis com CS (ver 5.3.2.1, 5.3.2.5 e Anexo C). O precondicionamento deve estar de acordo com os requisitos da ABNT NBR 6601, que inclui drenagem e abastecimento do tanque de combustível, purga e carregamento do *canister*, utilização do ciclo de condução urbana e uma estabilização de 12 h a 36 h. Um ou mais ciclos urbanos de precondicionamento podem ser desempenhados para assegurar o melhor atendimento aos critérios de tolerância de NEC (variações de SOC devem ser minimizadas, sendo preferencialmente positivas).

5.5.2.2.2 Estabilização do veículo e recarga do RESS

Após o precondicionamento e enquanto o veículo estiver estabilizando, o RESS deve ser recarregado completamente, de acordo com os requisitos de recarga de 5.3.3.2. Ele deve permanecer em recarga por no mínimo 12 h, depois das quais o carregador é desconectado da rede elétrica por meio de um temporizador automático ou simplesmente removendo o conector do fio AC no momento apropriado.

Entretanto, se após 12 h o carregador indicar que o ciclo de carga não está completo (ver 5.3.3.2), então a recarga deve continuar até a indicação de "carga completa" (sem corrente DC entrando na bateria). A energia AC total em watt-hora (Wh) deve ser registrada depois que a sequência de recarga estiver completa. Se as instruções do fabricante recomendarem que o carregador permaneça ligado ao longo de todo o período de estabilização (ou parte do mesmo), então o carregador deve permanecer devidamente conectado à rede elétrica. Toda a energia AC em watt-hora (Wh) deve ser calculada como energia consumida. É, desencorajado, mas admissível que haja interrupções durante as primeiras doze horas do período de recarga devido a circunstâncias não controladas. O tempo total de recarga deve ser de pelo menos 12 h, e outras condições do período de estabilização não são aceitas.

5.5.2.2.3 Colocação do veículo em posição

Depois da estabilização de 12 h a 36 h e com o RESS totalmente carregado, o veículo deve ser movido (empurrado ou rebocado – sem funcionar por seus próprios meios e sem ligar o sistema para evitar variações de SOC) para a posição no dinamômetro e seguramente fixada. A transmissão deve estar em uma condição "fria" no início deste ensaio; portanto, o veículo não pode ser deslocado por mais de 1,6 km entre o período de estabilização e o início deste ensaio, sendo recomendável o uso de um dispositivo que suspenda as rodas motrizes durante a sua movimentação.

5.5.2.2.4 Partidas do sistema de propulsão

O sistema de propulsão do veículo deve partir de acordo com os procedimentos de inicialização recomendados pelo fabricante no manual do proprietário. Os requisitos das ABNT NBR 6601 e ABNT NBR 7024 devem se aplicar para as partidas, mas com as palavras "sistema de propulsão" aplicadas genericamente em lugar da palavra "motor".

5.5.2.2.5 Procedimento de condução no dinamômetro

Assim que o sistema de propulsão do veículo tiver sido inicializado, o veículo deve ser conduzido por múltiplos ciclos urbanos completos no regime de CD, seguido de um ou mais ciclos em CS até que

ABNT NBR 16567:2016

o critério EOT seja cumprido (ver Anexo B). As emissões do tubo de escape para cada ciclo CCU devem ser armazenadas em um único saco de amostragem do CVS ou BMD. Os valores inicial e final de SOC e a energia DC em watt-hora (Wh) para cada ciclo devem ser registrados. A Figura 4 mostra um exemplo FCT com ciclo urbano.

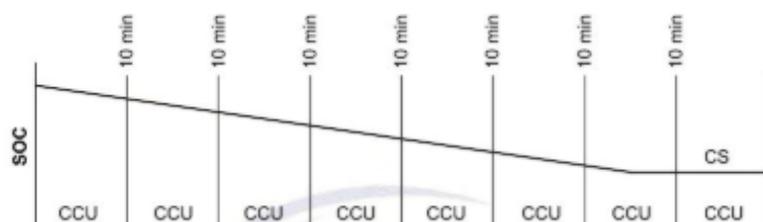


Figura 4 – Sequência de ensaios em ciclo urbano para ensaio com redução de carga em FCT

5.5.2.2.6 Detalhes da pausa entre ciclos

Durante a pausa de (10 ± 1) min para a estabilização entre os ciclos urbanos, o veículo deve permanecer com o comutador de ignição na posição "desligado", o capô fechado, o ventilador das células de ensaio desligado, o pedal de freio não pressionado, e o RESS não pode ser recarregado por uma fonte de energia elétrica externa. A aparelhagem para a medição do SOC deve permanecer ligada e não pode ser reinicializada durante a pausa entre os ciclos. No caso de medição por medidor de capacidade, expressa em ampères-hora, a integração deve permanecer ativa ao longo de todo o ensaio até que este seja concluído.

As pausas devem ser consistentemente de (10 ± 1) min. Entretanto, se as instalações para ensaios não possuírem o *software* e/ou *hardware* para fazê-lo sem pausas mais longas em algum momento depois de dois a quatro ciclos de ensaio para coleta de dados ou reinício do sistema de medições, é aceitável um intervalo de 10 min a 30 min. Um bom discernimento de engenharia deve ser aplicado na organização destas pausas para minimizar a alteração no procedimento de ensaio, na medida do possível. Durante todos os períodos de estabilização, a ignição deve estar na posição "desligada", o capô fechado, a(s) ventoinha(s) da célula de ensaio desligada(s), o pedal de freio não pressionado, e o RESS não recarregado a partir de uma fonte externa de energia elétrica.

NOTA Qualquer número de ciclos urbanos múltiplos pode ser realizado em uma configuração de ensaio com o propósito de obter o menor desvio possível da recomendação de estabilização de 10 min. Isto pode exigir a reprogramação do *software*, e possivelmente a reconfiguração do *hardware*, para acomodar ciclos urbanos em execução sequencial até que o critério de EOT (ver Anexo B) seja cumprido. Vários exemplos ilustrando abordagens que cumprem os requisitos são mostrados na Figura 5.

ABNT NBR 16567:2016

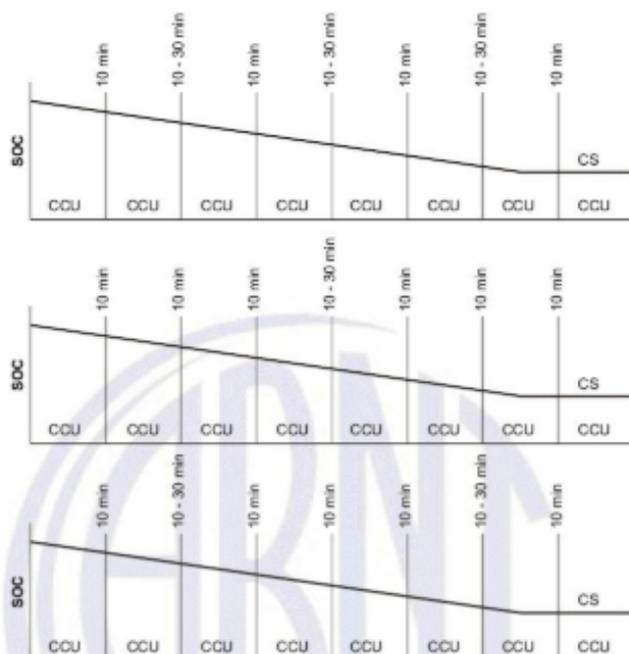


Figura 5 – Exemplos de opções de ensaio usando períodos mais longos de estabilização durante algumas pausas entre ensaios FCT

5.5.2.2.7 Amostragem e medições de emissões

As emissões e a distância efetivamente percorrida sobre o rolo do dinamômetro devem ser medidas durante cada um dos ciclos urbanos. Embora dois conjuntos de sacos de amostragem sejam usados consecutivamente durante um ciclo para veículos convencionais (*Bag 1* e *Bag 2*), é necessário que se use somente um conjunto de sacos de amostragem no FCT durante cada ciclo e, portanto, conduzir o FCT em um laboratório com esta capacidade.

5.5.2.2.8 Conclusão do ensaio

Este ensaio deve ser concluído quando o veículo atingir a operação em CS de acordo com as definições no Critério de Conclusão do Ensaio (EOT) conforme Anexo B.

5.5.2.2.9 Validação do ensaio

Se, a qualquer momento durante o ensaio, a propulsão do veículo não for possível ou o motorista for avisado pelo veículo para interromper a condução porque o RESS possui um suprimento muito baixo de energia, o ensaio é considerado inválido.

5.5.2.2.10 Recarga após o ensaio

Dentro de 3 h após o final do ensaio, o RESS deve ser recarregado completamente, de acordo com os requisitos de recarga de 5.3.3.2. Ele deve permanecer em recarga por no mínimo 12 h, e após este período, o carregador deve ser desconectado da rede elétrica por meio de um temporizador automático ou simplesmente removendo o conector do fio AC no momento apropriado.

ABNT NBR 16567:2016

Entretanto, se após 12 h o carregador indicar que o ciclo de carga não está completo (ver 5.3.3.2), então a recarga deve continuar até a indicação de "carga completa" (sem corrente DC entrando na bateria). A energia AC total em watt-hora (Wh) deve ser registrada depois que a sequência de recarga estiver completa. Se as instruções do fabricante recomendarem que o carregador permaneça ligado ao longo de todo o período de estabilização (ou parte deste), então o carregador deve permanecer devidamente conectado à rede elétrica. Toda a energia AC em watt-hora (Wh) deve ser calculada como energia consumida. É desencorajado, mas admissível, que haja interrupções durante as primeiras doze horas do período de recarga devido a circunstâncias não controladas. O tempo total de recarga deve ser de pelo menos 12 h e outras condições do período de estabilização não são aceitas.

NOTA A operação CS e a recarga depois deste FCT podem ser assumidas como o condicionamento do veículo e a recarga exigida para outro FCT.

5.5.2.3 Procedimento de ensaio com carga completa (FCT) no ciclo estrada

Este ensaio deve ser conduzido de acordo com as condições descritas em 5.2.4, os requisitos de instrumentação de 5.2 e os requisitos em 5.5.2.3.1 a 5.5.2.3.11. As ABNT NBR 6601 e ABNT NBR 7024 devem ser seguidas para quaisquer requisitos de procedimento não detalhadas especificamente nesta Norma, quando apropriado.

5.5.2.3.1 Precondicionamento do veículo

O condicionamento deve estar de acordo com os requisitos das ABNT NBR 6601 e ABNT NBR 7024. O combustível consumível deve ser drenado do tanque e o tanque reabastecido, a menos que:

- a) o veículo tenha passado por um CST anteriormente (em qualquer ciclo de condução) dentro das últimas 72 h no modo CS;
- b) o veículo tenha permanecido em condições de ambiente de laboratório. Um condicionamento que consista de um ou mais ciclos urbano ou estrada desenvolvidos no modo CS deve ser praticado dentro de 36 h antes do FCT. O SOC deve estar em nível de CS antes da recarga.

5.5.2.3.2 Estabilização do veículo e recarga do RESS

Após o condicionamento e enquanto o veículo estiver estabilizando, o RESS deve ser recarregado completamente, de acordo com os requisitos de recarga de 5.3.3.2. Ele deve permanecer em recarga por no mínimo 12 h, e após este período, o carregador é desconectado da rede elétrica por meio de um temporizador automático ou simplesmente removendo o conector do fio AC no momento apropriado.

Se após 12 h o carregador indicar que o ciclo de carga não está completo (ver 5.3.3.2), então a recarga deve continuar até a indicação de "carga completa" (sem corrente DC entrando na bateria). A energia AC total em watt-hora (Wh) deve ser registrada depois que a sequência de recarga estiver completa. Se as instruções do fabricante recomendarem que o carregador permaneça ligado ao longo de todo o período de estabilização (ou parte deste), então o carregador deve permanecer devidamente conectado à rede elétrica. Toda a energia AC em watt-hora (Wh) deve ser calculada como energia consumida. É, desencorajado, mas admissível que haja interrupções durante as primeiras doze horas do período de recarga devido a circunstâncias não controladas. O tempo total de recarga deve ser de pelo menos 12 h, e outras condições do período de estabilização não são aceitas.

5.5.2.3.3 Colocação do veículo em posição

Depois da estabilização de 12 h a 36 h e com o RESS totalmente carregado, o veículo deve ser movido (empurrado ou rebocado – sem funcionar por seus próprios meios e sem ligar o sistema para

ABNT NBR 16567:2016

evitar variações de SOC) para a posição no dinamômetro e seguramente fixado. A transmissão deve estar em uma condição "fria" no início deste ensaio; portanto, o veículo não pode ser deslocado por mais de 1,6 km entre o período de estabilização e o início deste ensaio, sendo recomendável o uso de um dispositivo que suspenda as rodas motrizes durante a sua movimentação.

5.5.2.3.4 Partida do sistema de propulsão

O sistema de propulsão do veículo deve ser inicializado de acordo com os procedimentos de partida recomendados pelo fabricante no manual do proprietário. Os requisitos da ABNT NBR 7024 devem se aplicar para inicialização e reinicialização, mas com as palavras "sistema de propulsão" em lugar da palavra "motor".

5.5.2.3.5 Procedimento de condução no dinamômetro

Ao contrário dos ensaios no ciclo estrada para veículos convencionais ou VEH em CS, o ensaio FCT no ciclo estrada tem início com partida a frio e RESS totalmente recarregado. Assim que o sistema de propulsão do veículo tiver sido inicializado, o veículo deve ser conduzido ao longo de múltiplos ciclos estrada em CD, sequencialmente seguidos de um ou mais ciclos CCE em CS até que o critério de EOT (ver Anexo B) seja atendido. As emissões do tubo de escape para cada ciclo estrada devem ser coletadas em um único conjunto de sacos de amostragem CVS ou BMD. Os valores inicial e final de SOC e da energia DC em watt-hora (Wh) para dado ciclo devem ser registrados.

5.5.2.3.6 Procedimento de condução em dinamômetro com a opção de comutador de CS

Ensaio convencionais em ciclo estrada são tipicamente desempenhados como um conjunto de dois ciclos estrada, sendo o primeiro tomado como condicionamento para o segundo ciclo. Se o veículo possuir um comutador para CS e os objetivos do ensaio forem evitar condições de partida a frio no FCT, existe uma opção de procedimento para usar o modo CS durante o primeiro ciclo estrada para manter o RESS totalmente recarregado durante o aquecimento (ciclo de preparação). Este primeiro ciclo atua como um condicionamento para aquecer o veículo, como é feito com veículos convencionais no ciclo estrada. Assim como em veículos convencionais, o ciclo de condicionamento não é incluído nos cálculos dos resultados. Para assegurar que o RESS permaneça totalmente recarregado, a tolerância de NEC (ver Anexo C) deve ser atendida durante a execução do primeiro ciclo estrada com o comutador de CS ativado. Assim que o primeiro ciclo estrada estiver concluído e o veículo estiver inativo, antes que o segundo ciclo estrada comece, o modo CS é desativado para iniciar a operação em CD. Ao usar o comutador, as opções para pausas entre ciclos de condução são as mesmas. O veículo deve ser conduzido ao longo de múltiplos ciclos estrada sequencialmente em CD, seguidos por um número de ciclos CCE em CS até que os critérios de conclusão do ensaio (ver Anexo B) sejam atendidos. As emissões de escapamento para cada ciclo estrada devem ser armazenadas em um único saco de amostragem CVS ou BMD. Os valores inicial e final do SOC para cada ciclo devem ser registrados. Este método opcional pode ser usado independentemente do tipo de VEHP (totalmente elétrico ou de operação mista de motor/bateria). Os valores inicial e final de SOC e a energia DC em watt-hora (Wh) para cada ciclo devem ser registrados.

5.5.2.3.7 Pausas entre ciclos

O veículo deve ser conduzido ao longo do maior número de ciclos estrada possível no modo CD, separados por um período de inatividade de 15 s, com ignição ligada (sem pausas), como permitirem as capacidades do laboratório. Se forem exigidas pausas entre ciclos para interromper o ensaio e para reinicializar o sistema de ensaios, então estas pausas devem ter menos de 30 min de duração. É amplamente preferível que a maioria das pausas entre ciclos de condução ocorram em períodos de 15 s de inatividade, com a chave de ignição ligada. Se possível, quatro ciclos estrada devem

ABNT NBR 16567:2016

ser percorridos consecutivamente, separados por períodos de 0 min a 30 min de estabilização com ignição desligada. Muitos (mas não todos) laboratórios de emissões podem desempenhar quatro ciclos em sistemas CVS ou BMD. A faixa de 0 min a 30 min para o período de estabilização é escolhida com base na capacidade dos laboratórios para a leitura de valores, evacuação, purga dos sacos de amostragem e de inicializar um novo ensaio. Um bom discernimento de engenharia deve ser aplicado na organização destas pausas de ensaios, causando assim a menor alteração possível no procedimento. Durante todas as pausas de ensaio, o veículo deve estar à velocidade zero, com a ignição na posição "desligada", o capô fechado, a(s) ventoinha(s) da célula de ensaio deve(m) estar desligada(s), o pedal de freio não pressionado, e o RESS não recarregado por uma fonte externa de energia elétrica. Vários exemplos ilustrando abordagens que atendem os requisitos são mostrados na Figura 6. A aparelhagem de SOC não pode ser desligada ou reinicializada durante as pausas entre ciclos. No caso de medição por medidor de capacidade, expressa em ampères-hora (Ah), a integração deve permanecer ativa ao longo de todo o FCT até que este seja concluído.

5.5.2.3.8 Amostragem e medições de emissões

Emissões de gases de escape e a distância efetivamente percorrida na superfície do rolo do dinamômetro devem ser medidas durante cada ciclo estrada.

5.5.2.3.9 Conclusão do ensaio

Este ensaio deve ser concluído quando o veículo atingir a operação em CS alcançada de acordo com as definições no critério de conclusão de ensaio (EOT), conforme Anexo B.

5.5.2.3.10 Validação do ensaio

Se a qualquer momento durante o ensaio, a propulsão do veículo não for possível ou o motorista for alertado pelo veículo a interromper a condução porque o RESS possui suprimento muito baixo de energia, o ensaio é considerado inválido.

5.5.2.3.11 Recarga após o ensaio

Dentro de 3 h após o final do ensaio, o RESS deve ser recarregado completamente, de acordo com os requisitos de recarga de 5.3.3.2. Ele deve permanecer em recarga por no mínimo 12 h, depois das quais o carregador deve ser desconectado da rede elétrica por meio de um temporizador automático ou simplesmente removendo o conector do fio AC no momento apropriado.

Se após 12 h o carregador indicar que o ciclo de carga não está completo (ver 5.3.3.2), então a recarga deve continuar até a indicação de "carga completa" (sem corrente DC entrando na bateria). A energia AC total em watt-hora (Wh) deve ser registrada depois que a sequência de recarga estiver completa. Se as instruções do fabricante recomendarem que o carregador permaneça ligado ao longo de todo o período de estabilização (ou parte do mesmo), então o carregador deve permanecer devidamente conectado à rede elétrica. Toda a energia AC em watt-hora (Wh) deve ser calculada como energia consumida. É desencorajado, mas admissível que haja interrupções durante as primeiras doze horas do período de recarga devido a circunstâncias não controladas. O tempo total de recarga deve ser de pelo menos 12 h, e outras condições do período de estabilização não são aceitas.

NOTA A operação CS e a recarga depois deste FCT podem ser assumidas como o condicionamento do veículo e a recarga exigida para outro FCT.

ABNT NBR 16567:2016

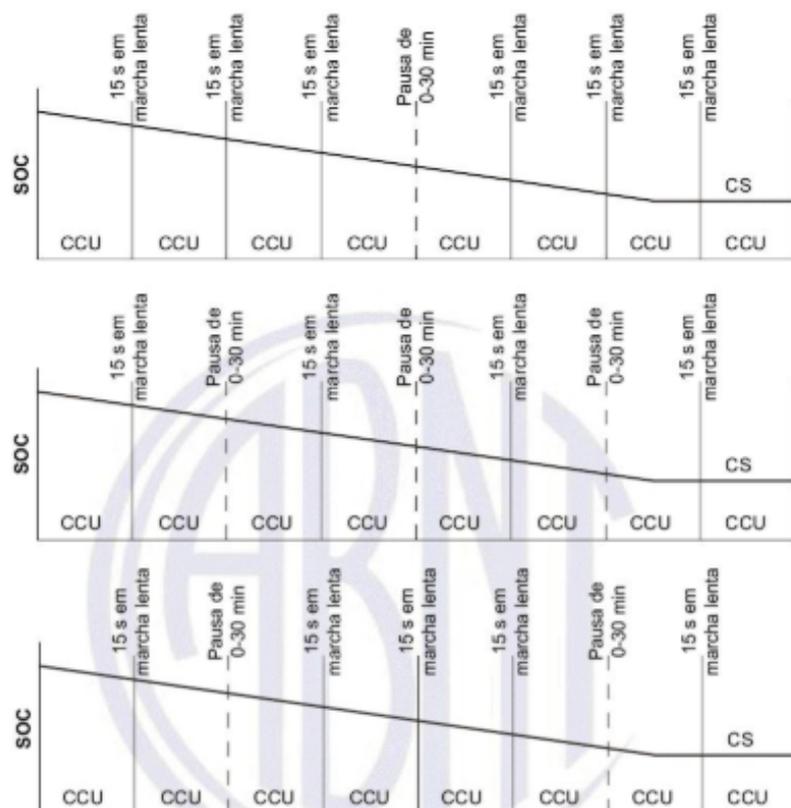


Figura 6 – Sequências de ensaios com ciclo estrada para ensaio com redução de carga em FCT usando variações de pausas entre ensaios

6 Cálculos

6.1 Cálculos para VEH e VEHP em carga sustentada

É necessária uma série de cálculos para determinar as emissões de escapamento e o consumo de combustível de VEH em CS nos ensaios mencionados na Seção 5 desta Norma, medidos segundo os ciclos urbanos e estrada.

Para o CST, a fonte final de toda a energia usada pelo veículo é o combustível consumível, exceto a tolerância correspondente à NEC. O consumo de combustível no CST é calculado a partir dos resultados das emissões mássicas para cada ciclo urbano (ou as duas fases de cada ciclo, no caso de medição em quatro fases) e cada ciclo estrada.

O valor de consumo de combustível assim calculado é um resultado aceitável, mesmo que possa ter ocorrido uma NEC diferente de zero ao longo do ensaio dentro da tolerância especificada no Anexo C. Entretanto, o consumo de combustível pode ser corrigido para uma variação nula do nível de carga usando-se a metodologia definida no Anexo C para cada ciclo em separado.