



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE
DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA



Allan Hellmann

ANÁLISE DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UM AUTOMÓVEL DE
PASSEIO EM TRAJETO COM FAIXAS ELEVADAS PARA TRAVESSIA
DE PEDESTRES E TRAJETO LIVRE

DOURADOS/MS

2018

Allan Hellmann

ANÁLISE DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UM AUTOMÓVEL DE
PASSEIO EM TRAJETO COM FAIXAS ELEVADAS PARA TRAVESSIA
DE PEDESTRES E TRAJETO LIVRE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora da
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal da Grande Dourados para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Ramon
Eduardo Pereira Silva

DOURADOS/MS

2018

III

Allan Hellmann

ANÁLISE DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UM AUTOMÓVEL DE
PASSEIO EM TRAJETO COM FAIXAS ELEVADAS PARA TRAVESSIA
DE PEDESTRES E TRAJETO LIVRE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora da
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal da Grande Dourados para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Energia.

Aprovado em 11 de maio de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva – UFGD – Orientador

Prof. Dr. Eduardo Manfredini Ferreira – UFGD – Avaliador

Prof. Dr. Reginaldo Ribeiro de Sousa – UFGD – Avaliador

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

H476a Hellmann, Allan

Análise do Consumo de Combustível de um Automóvel de Passeio em Trajeto com Faixas Elevadas para Travessia de Pedestres e Trajeto Livre / Allan Hellmann -- Dourados: UFGD, 2018.

76f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva

TCC (Graduação em Engenharia de Energia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Consumo de combustível. 2. Faixa elevada para travessia de pedestres. 3. Dispositivos para redução de velocidade. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

*Dedico este trabalho e todas as
minhas conquistas aos meus pais, Carlos
e Raquel, e a minha irmã, Rafaela*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, em especial meus pais Carlos Hellmann e Raquel Moreira, que forneceram suporte durante todo o período que investi na educação, até o momento. Mesmo nos momentos difíceis não faltou amor e condições para continuar a conclusão da graduação, e por isso devo muito a eles.

Aos meus familiares, que, de alguma forma, contribuíram para a minha educação e formação profissional e pessoal, transmitindo muito conhecimento e me apoiando nos momentos de desmotivação.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, tecendo suas opiniões sinceras sobre os mais diversos questionamentos e apoiando, quando necessário, além de ampla contribuição na minha personalidade e caráter.

Aos meus colegas de classe, com quem convivi boa parte da minha vida, não apenas acadêmica, compartilhando a experiência da graduação e unindo as expertises nas atividades acadêmicas em grupos.

Ao meu orientador, Professor Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva, por ter aceitado me orientar, apesar de estar orientando vários outros trabalhos e exercendo a posição de coordenador do curso de engenharia de energia. Por toda a colaboração, supervisão e conhecimentos repassados durante o desenvolvimento desse trabalho.

À Universidade Federal da Grande Dourados e a todo corpo docente que me proporcionou o conhecimento necessário, sendo a base da sociedade moderna, sempre buscando o aperfeiçoamento para melhor nos ensinar. Com a ausência desta instituição, nada disso seria possível.

Agradeço, em linhas gerais, a todas as pessoas que contribuíram para a minha formação acadêmica, pessoal e profissional até este momento, desenvolvendo e lapidando o meu bem mais valioso: o conhecimento.

“Go big or go home.”
(autor desconhecido)

RESUMO

Neste trabalho são apresentados conceitos básicos de motores de combustão interna (MCI), fatores que influenciam o consumo de combustível e um estudo do impacto de faixas elevadas para travessia de pedestres no consumo de um automóvel de passeio. Programas governamentais de incentivo fiscal como o Inovar-Auto e o Rota 2030 visam otimizar a matriz energética brasileira e reduzir os impactos ambientais, medidos através de normas técnicas, porém o consumo e emissões reais podem variar drasticamente por fatores externos como intempéries, tráfego, modo de condução e condições da via. O estudo mostra que o automóvel levou 52 s (14,7%) e consumiu 21,2% de combustível, a mais, para percorrer um trajeto de 5400 m contendo 4 faixas elevadas para travessia de pedestres, comparado a um trajeto livre. Isoladamente, cada faixa adicionou, em média, 13 s (63,7%) ao trajeto. Além disso, cada faixa causou um aumento do consumo de combustível de 96,2%, equivalente a R\$ 0,064, comparado com um trecho livre de mesma distância. Pelo significativo impacto, a instalação de dispositivos de redução de velocidade deve ser cuidadosamente estudada.

Palavras-chave: Consumo de combustível, Faixa elevada para travessia de pedestres, Dispositivos para redução de velocidade.

ABSTRACT

In this work is presented basic concepts of internal combustion engines (ICE), factor which influence fuel consumption, and a study about the impact of the elevated pedestrian crossings over a passenger car's fuel consumption. Tax incentive governmental programs such as the Inovar-Auto and the Rota 2030 aim to optimize the Brazilian energy matrix and reduce environmental impacts, measured via technical standards. However, the real-world fuel consumption and emissions may drastically vary upon external factors such as climate conditions, traffic, driver behavior and road conditions. The study found that the automobile spent 52 s (14,7%) and consumed 21,2% more, to travel along a 5400 m route containing 4 elevated pedestrian crossings, compared to a route free of crossings. Alone, each crossing added, on average, 13 s (63,7%) to the course. Furthermore, each crossing caused an increase of 96,2% in fuel consumption, equivalent to R\$ 0,064, compared to a free course of the same distance. Due to the significative impact, the installation of speed reduction dispositive must be carefully studied.

Keywords: Fuel consumption, Mileage, Elevated pedestrian crossing, Speed reduction dispositive.

Lista de Figuras

Figura 2.1. Motor de ciclo Diesel	4
Figura 2.2. Conjunto de pistões, bielas e árvore de manivelas.	5
Figura 2.3: Visão geral de um MCI alternativo. Vista frontal.....	6
Figura 2.4: Localização da câmara de combustão em um motor de ciclo Otto.	6
Figura 2.5: Cursos inerentes aos motores de ciclo Otto de quatro tempos.	8
Figura 2.6: Diagrama P-V do ciclo padrão de ar Otto.....	9
Figura 2.7: Diagrama T-s do ciclo padrão de ar Otto.	10
Figura 2.8: Variação da eficiência térmica com a taxa de compressão.....	11
Figura 2.9: Emissões de motor à gasolina em função da razão ar combustível.....	13
Figura 2.10: Consumo e potência em função da razão ar combustível para um motor à gasolina.....	13
Figura 2.11: Sensor lambda aplicada em motor de ciclo Otto.	14
Figura 2.12: Esquema de sistema de ignição para motores de ciclo Otto.....	15
Figura 2.13: Variação do ponto de avanço de ignição de acordo com a rotação do motor.	15
Figura 2.14: Aumento do consumo elétrico médio em automóveis norte americanos ao longo do tempo.....	17
Figura 2.15: Cinco técnicas que podem diminuir o consumo de combustível.	18
Figura 2.16: Gráfico de consumo específico para um motor de ciclo Otto.	19
Figura 2.17 Velocidades de ensaio de consumo e emissões em ciclo urbano padrão da norma técnica NBR 6601.	23
Figura 2.18. Velocidades de ensaio de consumo e emissões em ciclo rodoviário padrão da norma técnica NBR 6601.	24
Figura 3.1. Renault Logan Authentique 1,0 L. Vista frontal.	25
Figura 3.2. Cofre do motor do Renault Logan Authentique 1,0 L.	26
Figura 3.3. Pneus XBRI Ecology 185/70R14 que equipavam o veículo.....	26
Figura 3.4. Painel do Renault Logan Authentique 1,0 L.	26
Figura 3.7. Scanner OBD Vgate ELM 327 Mini BT, utilizado nos ensaios.	27
Figura 3.8. Scanner OBD Vgate ELM 327 Mini BT.	27
Figura 3.9. <i>Smartphone</i> Samsung Galaxy S7 SM-G930F, utilizado nos ensaios.....	28
Figura 3.10. Interface gráfica do aplicativo utilizado nos ensaios.....	29
Figura 3.11. Faixa elevada para travessia de pedestres.	30

Figura 3.12. Trajeto com faixas elevadas para travessia de pedestres.....	31
Figura 3.13. Trajeto livre de faixas elevadas para travessia de pedestres.	31
Figura 4.1. Parâmetros ao transpor uma faixa elevada de pedestres.	35
Figura 4.2. Posição do acelerador e carga do motor ao decorrer dos ensaios.	36
Figura 4.3. Variação da velocidade do motor do automóvel ao decorrer dos ensaios.	37
Figura 4.4. Variação da velocidade do automóvel ao decorrer dos ensaios.	38
Figura 4.5. Variação da temperatura do líquido de arrefecimento.....	39
Figura 4.6. Avanço do ponto de ignição e carga do motor.	40
Figura 4.7. Vazão de combustível.	41
Figura 4.8. Consumo de combustível.	42

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. :Relação ar combustível calculada para alguns combustíveis.	12
Tabela 2.2: Aumento no consumo de combustível resultante da adição de um reboque.	21
Tabela 2.3: Autonomia de um automóvel com um tanque com capacidade de 50 L.	22
Tabela 4.1. Tempo gasto para completar cada passagem, em ambos os trajetos, nos dois sentidos.	38
Tabela 4.2. Consumo e consumo médio de combustível	42
Tabela 4.3. Consumo e tempo associado exclusivamente à passagem sobre cada faixa elevada de pedestres.	43
Tabela 4.4: Consumo do automóvel a 60 km/h, no trajeto livre.....	43
Tabela 4.5: Comparação do tempo, consumo de combustível e custo entre transpor uma faixa elevada para pedestres e percorrer trajeto livre de mesma distância.....	44

Lista de Abreviações e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC _e	Relação ar combustível estequiométrica
AC _r	Relação ar combustível real
B10	Mistura com 10% de biodiesel e 90% de diesel
BSFC	Brake specific fuel consumption
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CSV	Comma-separated values (valores separados por vírgulas)
CTG	Centro de Tradições Gaúchas
d	Diâmetro do cilindro
D	Deslocamento
E _c	Energia cinética
E0	Gasolina pura
E10	Mistura com 10% de etanol e 90% de gasolina
E85	Mistura com 85% de etanol e 15% de gasolina
ECU	Engine control unit (unidade de controle do motor)
E _{tc}	Energia térmica total da combustão
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
HC	Hidrocarboneto
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
MCI	Motor de combustão interna
m	Massa
m _{ar}	Massa de ar
m _{comb}	Massa de combustível
\dot{m}_{real}	Vazão mássica real
$\dot{m}_{teórico}$	Vazão mássica teórico
N	Número de cilindros
NEDC	New European Driving Cycle
NO	Monóxido de carbono

OBD	On Board Diagnostics (Diagnóstico de Bordo)
PME	Pressão média efetiva
PMI	Ponto morto inferior
PMS	Ponto morto superior
Q_L	Calor injetado no sistema
Q_H	Calor rejeitado no sistema
RPM	Revoluções por minuto
s	Velocidade
Seeg	Sistema de Emissão de Gases de Efeito Estufa
SUV	Sport utility vehicle (veículo utilitário esportivo)
T	Energia térmica convertida em trabalho
TC	Taxa de compressão
v	Volume de uma câmara de combustão
V	Volume de um cilindro
VBA	Visual Basic for Applications
WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure
λ	Razão entre a relação ar combustível real e estequiométrica
η_t	Eficiência térmica
η_v	Eficiência volumétrica

Sumário

1.	Introdução.....	1
1.1.	Justificativa do trabalho.....	2
1.2.	Objetivo.....	2
2.1.	Objetivos primários.....	2
2.2.	Objetivos secundários.....	2
1.3.	Estrutura do trabalho.....	3
2.	Revisão bibliográfica.....	4
2.1.	Motores de combustão interna.....	4
2.3.	Conceitos de MCI alternativos.....	5
2.3.1.	Deslocamento.....	5
2.3.2.	Taxa de compressão.....	6
2.3.3.	Eficiência volumétrica.....	7
2.3.4.	Eficiência térmica.....	7
2.4.	Princípio de funcionamento.....	8
2.4.1.	Motores de ciclo Otto de quatro tempos.....	8
2.4.2.	Ciclo de ar Otto ideal.....	9
2.4.3.	Relação ar combustível.....	11
2.4.4.	Ponto de ignição.....	14
2.5.	Fatores que afetam o consumo de combustível.....	16
2.5.1.	Sistemas auxiliares.....	16
2.5.2.	Aerodinâmica.....	17
2.5.3.	Condições climáticas.....	17
2.5.4.	Comportamento ao volante.....	18
2.5.5.	Condições do veículo.....	20
2.5.6.	Massa em ordem de marcha.....	20
2.5.7.	Condições da via.....	21
2.5.8.	Características do combustível.....	22
2.6.	Características de condução urbana e rodoviária.....	22
3.	Metodologia.....	25
3.1.	Materiais.....	25
3.1.1.	Automóvel.....	25
3.1.2.	Scanner OBD.....	27

3.1.3. Smartphone.....	28
3.1.4. Aplicativo para aquisição de dados.....	28
3.1.5. Tratamento de dados.....	29
3.2. Rotina dos ensaios.....	30
3.2.1. Trajetos.....	30
3.2.2. Preparação.....	32
3.2.3. Execução.....	32
4. Apresentação e Discussão dos Resultados.....	35
5. Conclusão.....	45
5.1. Sugestão para trabalhos futuros.....	46
6. Referências.....	47

1. Introdução

Apesar das evoluções em redução da emissão de poluentes nos automóveis e motocicletas, devido a fatores mercadológicos e de legislação, esses veículos aumentaram suas emissões de gases de efeito estufa em 192% entre 1994 e 2014. O estudo realizado pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), baseado nos dados do Sistema de Emissão de Gases de Efeito Estufa (Seeg), mostram que as emissões de gases aumentaram, no mesmo período, em média, 5,6% ao ano, atingindo 220,5 milhões de toneladas de CO₂ em 2014, sendo metade proveniente do transporte de cargas. (CALIXTO, 2016)

O principal fator para o aumento das emissões de gases do efeito estufa é a maior intensidade do uso desses veículos, principalmente devido ao aumento da frota de veículos. Outros fatores que contribuem para este aumento é a queda brusca da competitividade do etanol, caindo de 33,2%, em 2009, para 26%, em 2014, e a queda da utilização do transporte público, que caiu 20% durante as duas décadas. O relatório recomenda que haja inovação tecnológica na frota e incentivar o uso do transporte público e o uso racional do carro. (CALIXTO, 2016)

O programa Inovar-Auto, cujas metas estão associadas a incentivo fiscal, reduzindo o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), possuía a meta básica de atingir uma economia de energia de 12,08% nos automóveis brasileiros até 2017, comparado a 2011, meta que corresponde a 140,8 gramas de CO₂ por km rodado. O país superou a meta proposta, reduzindo o consumo de energia em 15,4%. O programa Rota 2030, substituto do Inovar-Auto, deve ser oficializado no primeiro semestre de 2018. (CALMON, 2018)

O Brasil é e continuará sendo, nos próximos anos, um dos maiores mercados de automóveis do mundo. Fabricantes e governo precisam tomar providências para que os carros produzidos no país sejam mais econômicos e emitam menos poluentes, preferencialmente estando alinhado com padrões similares aos que existem nos EUA e Europa, mais restritos – afirma o coordenador da campanha Clima e Energia do Greenpeace, Iran Magno. (CARVALHO, 2014)

Embora as normas técnicas NBR 6601 (ABNT, 2001) e NBR 7024 (ABNT, 2002) forneçam padrões para a determinação de consumo e emissão de poluentes, estes podem variar drasticamente de acordo com o modo de condução, condições da via, tráfego, intempéries, peso, acessórios instalados, etc., pois

influenciam significativamente no consumo de energia no automóvel, além de submeter a unidade motriz operar em várias condições, para suprir as demandas de potência. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

Este trabalho apresenta conceitos básicos de motores a combustão interna, os fatores que influenciam no consumo de combustível, e estuda a influência de faixas elevadas para travessia de pedestres, instaladas em uma via rural pavimentada com velocidade máxima de 60 km/h, no consumo de um automóvel de passeio, comparando com um trajeto sem dispositivos de redução de velocidade.

1.1. Justificativa do trabalho

O consumo de combustível é um fator que compõe grande proporção do custo variável de operação de um automóvel, além de que, quanto maior o consumo, maior é a emissão de CO₂ e, potencialmente, de outros gases contribuintes para o efeito estufa. Sendo assim, a análise do consumo de combustível devido às faixas elevadas para travessia de pedestres – e demais dispositivos que visam reduzir, pontualmente, a velocidade do automóvel e gastarem mais energia – é pertinente.

1.2. Objetivo

Os objetivos foram separados em primários e secundários.

2.1. Objetivos primários

Este trabalho tem como objetivos primários comparar e discutir o consumo de combustível de um automóvel de passeio em um trajeto que possui faixas elevadas para travessia de pedestres e um trajeto livre, a fim de verificar as diferenças através de experimento prático. Consequente das reduções de velocidade, também é estudado o impacto do tempo no percurso, devido às reduções de velocidade.

2.2. Objetivos secundários

Como objetivos secundários, foi necessário definir metodologia para a execução dos ensaios, no que diz respeito a preparo, modo de condução e de medição, além de estudar meios apropriados para representar os resultados obtidos.

1.3. Estrutura do trabalho

O trabalho foi dividido conforme descrito abaixo:

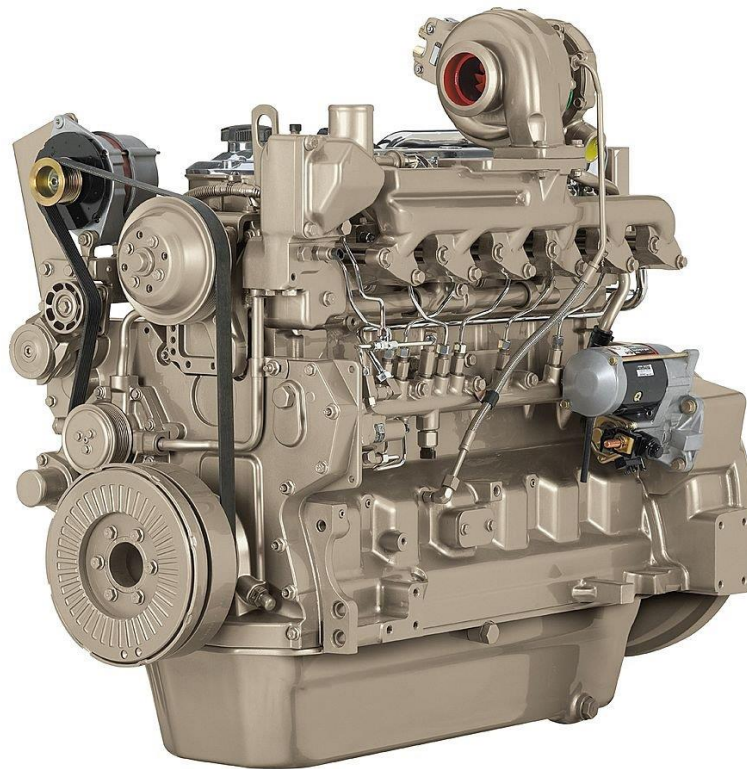
- No Capítulo 2 são apresentados os motores de combustão interna, conceitos matemáticos associados e os fatores que influenciam no consumo de combustível;
- No Capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos obtido para a obtenção dos dados do estudo;
- O Capítulo 4 apresenta a discussão dos resultados referente aos ensaios realizados;
- O Capítulo 5 traz a conclusão do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Motores de combustão interna

Os motores alternativos de combustão interna (MCI) podem ser de ignição por centelha (ciclo Otto) ou por compressão (ciclo Diesel), onde ambos os tipos possuem vantagens e desvantagens. Enquanto o ciclo Diesel (Figura 2.1) utiliza o aumento de temperatura e pressão da mistura ar-combustível para iniciar a combustão, o motor de ciclo Otto utiliza uma centelha, proveniente de uma ou mais velas de ignição. (BRUNETTI, 2012).

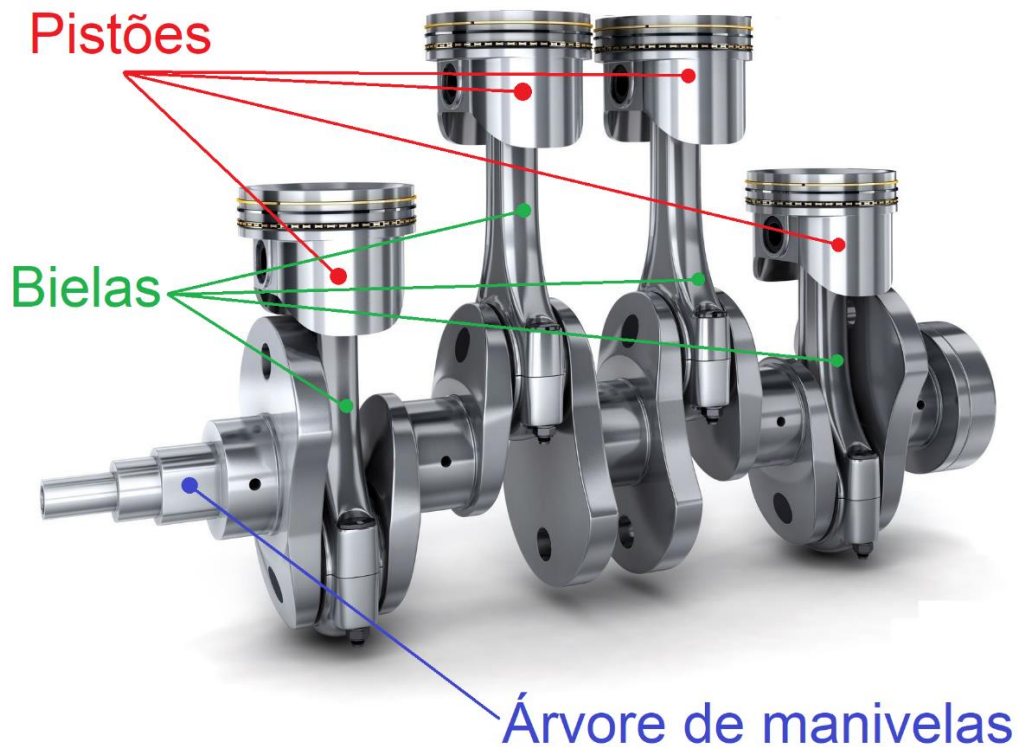
Figura 2.1. Motor de ciclo Diesel



Fonte: (RETÍFICA VILA MARIA, 2017).

Tanto em motores de ciclo Otto quanto Diesel, a energia da combustão é transformada em energia mecânica através de pistões, e depois em potência de eixo, através de bielas e uma árvore de manivelas, também conhecida como virabrequim (Figura 2.2). (BRUNETTI, 2012).

Figura 2.2. Conjunto de pistões, bielas e árvore de manivelas.



Fonte: (MR AUTOMOTIVO, 2017). Adaptado.

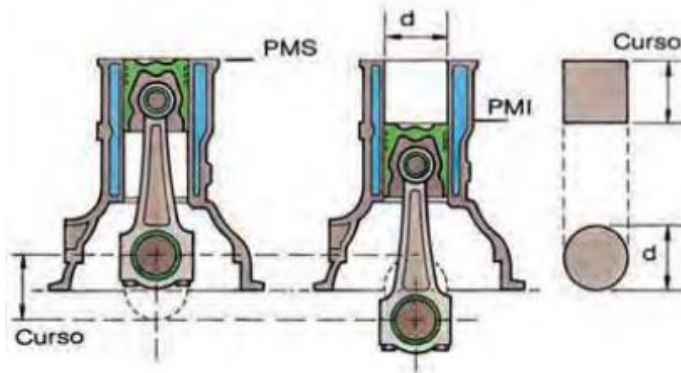
2.3. Conceitos de MCI alternativos

Algumas características são comuns a todos os motores de combustão interna alternativos, e os conceitos a seguir foram citados em literatura técnica, enquanto a maioria deles também aparece nas fichas técnicas de automóveis, motocicletas e utilitários, pois dão uma visão geral do comportamento do veículo em diversas situações.

2.3.1. Deslocamento

É o volume total deslocado por todos os pistões entre o ponto morto superior (PMS) e o ponto morto inferior (PMI), e pode ser visto na Figura 2.3. É representado em centímetros cúbicos ou litros, e também é conhecido como “cilindrada”. Podemos escrever o deslocamento em função do diâmetro do cilindro e do curso (distância entre o PMS e o PMI), como pode ser visto na Equação 1. (MAHLE, 2014)

Figura 2.3: Visão geral de um MCI alternativo. Vista frontal.



Fonte: (MAHLE, 2014).

$$D = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot curso \cdot N}{4} \quad (1)$$

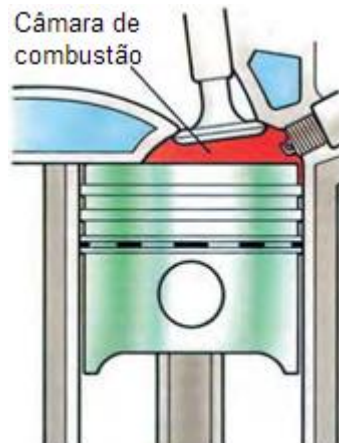
Sendo:

- D: deslocamento, em cm³;
- d: diâmetro do cilindro;
- N: número de cilindros.

2.3.2. Taxa de compressão

Câmara de combustão ou de compressão é o volume do motor onde a mistura ar combustível é comprimida antes que haja a ignição, liberando a energia do combustível, e se situa entre o topo do pistão e o cabeçote. O formato da câmara de combustão é importante para as características de funcionamento do motor, assim como seu volume.

Figura 2.4: Localização da câmara de combustão em um motor de ciclo Otto.



Fonte: (MAHLE, 2014).

A taxa de compressão ou relação de compressão é a razão do volume de deslocamento quando o pistão está no PMS e quando está no PMI, e pode ser escrito de acordo com a Equação 2 (MAHLE, 2014). Este parâmetro tem relação com a eficiência do motor, como será visto mais adiante.

$$TC = \frac{V + v}{v} \quad (2)$$

Sendo:

- TC: taxa de compressão;
- V: volume de um cilindro;
- v: volume de uma câmara de combustão.

2.3.3. Eficiência volumétrica

É a relação entre o enchimento real e o enchimento teórico no cilindro, em massa, como pode ser visto na Equação 3 (BRUNETTI, 2012). Um fator que pode tornar essa relação maior que 100% é a superalimentação, através de turbo compressor ou compressor centrífugo.

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{real}}{\dot{m}_{teórico}} \quad (3)$$

Sendo:

- η_v : eficiência volumétrica;
- \dot{m}_{real} : vazão mássica real;
- $\dot{m}_{teórico}$: vazão mássica teórico.

2.3.4. Eficiência térmica

É a relação entre a energia térmica que é convertida em trabalho pelo motor, dividida pela energia térmica total, gerada na combustão (MAHLE, 2014), e pode ser representada pela Equação 4.

$$\eta_t = \frac{T}{E_{tc}} \quad (4)$$

Sendo:

- η_t : eficiência volumétrica;
- T: energia térmica convertida em trabalho;
- E_{tc} : energia térmica total da combustão.

2.4. Princípio de funcionamento

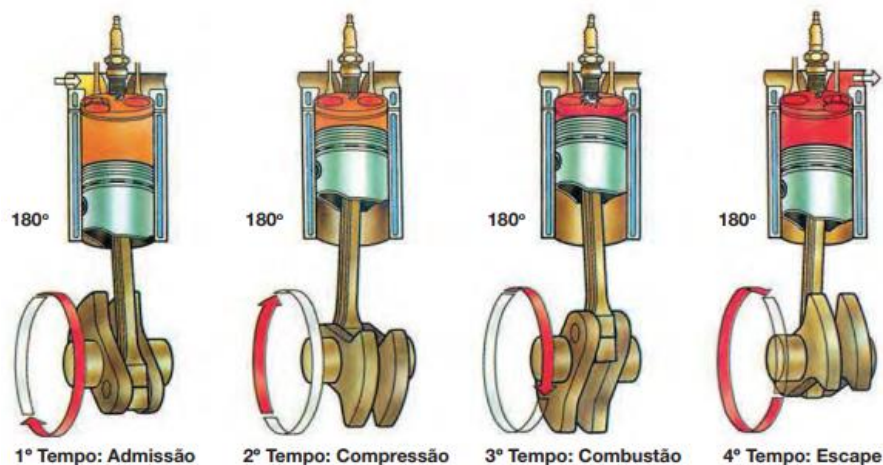
Nesta seção foi tratado apenas o funcionamento de motores de combustão interna de ciclo Otto de quatro tempos, que é o caso do automóvel utilizado para os ensaios deste trabalho.

2.4.1. Motores de ciclo Otto de quatro tempos

Um MCI alternativo, em sua forma mais simples, gera trabalho através do movimento de um pistão no interior de um cilindro, que possui no mínimo duas válvulas – uma de admissão e uma de escape. As válvulas servem para admitir e expelir os gases, enquanto o movimento do pistão comprime-os. O aumento da pressão dos gases, com a combustão, imprime uma força na direção contrária à compressão, sendo convertido em movimento rotativo por um mecanismo de manivela. (MORAN; SHAPIRO, 2013)

Nos motores de quatro tempos, o pistão executa quatro cursos distintos dentro do cilindro. As quatro etapas acontecem durante duas rotações do eixo de manivelas, retornando ao curso inicial, após, repetindo o ciclo (MORAN; SHAPIRO, 2013). A Figura 2.5 ilustra os quatro ciclos, relacionando-os com a rotação da árvore de manivelas, representados, idealmente, com 180° cada.

Figura 2.5: Cursos inerentes aos motores de ciclo Otto de quatro tempos.



Fonte: (MAHLE, 2014).

- Curso de admissão: neste curso a mistura ar combustível é admitida através da válvula de admissão, que se encontra aberta, entrando no cilindro devido à queda de pressão, devido ao aumento de volume, proporcionado pela descida do pistão.
 - Curso de compressão: neste curso, as válvulas de admissão e de escape permanecem fechadas, e a temperatura e a pressão no interior do cilindro aumentam, ao passo que o pistão realiza seu movimento ascendente, reduzindo o volume, realizando trabalho sobre a mistura ar combustível. Neste curso, ainda, o processo de combustão se inicia, através de uma centelha gerada por uma vela de ignição.
 - Curso de potência: também com ambas as válvulas fechadas, a mistura gasosa se expande devido ao aumento de temperatura e pressão, proveniente do processo de combustão, retornando ao PMI.
 - Curso de escape: a válvula de escape é aberta, expulsando os gases resultantes da combustão, através do movimento ascendente do pistão.
- (MORAN; SHAPIRO, 2013)

2.4.2. Ciclo de ar Otto ideal

O estudo de motores se baseia em uma modelagem de ciclos termodinâmicos ideais. O ciclo de ar padrão Otto é razoavelmente próximo do motor por ignição por centelha, mostrado nas Figuras Figura 2.6 e Figura 2.7. (YANAGIHARA, 2014)

Figura 2.6: Diagrama P-V do ciclo padrão de ar Otto.

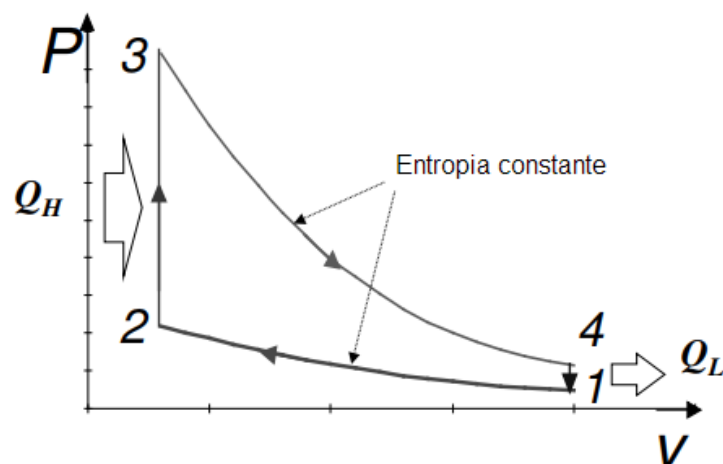


Diagrama de pressão e volume. Q_H é o calor injetado no sistema, enquanto Q_L é o calor rejeitado.
Fonte: (YANAGIHARA, 2014). Adaptado.

Figura 2.7: Diagrama T-s do ciclo padrão de ar Otto.

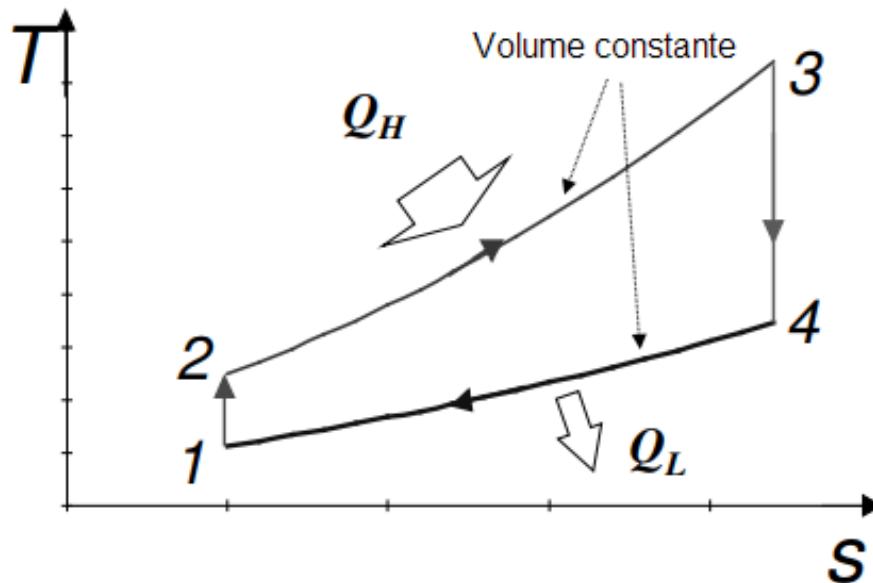


Diagrama de temperatura e entropia. Q_H é o calor injetado no sistema, enquanto Q_L é o calor rejeitado. Fonte: (YANAGIHARA, 2014). Adaptado.

O processo 1-2 consiste de uma compressão isentrópica do ar, ao passo que o pistão se movimenta do PMI para o PMS. No processo 2-3, ocorre a transferência de calor para o ar, a volume constante, no momento em que o pistão está no PMS, que é a modelagem da ignição da mistura ar combustível, num motor real, aumentando sua temperatura e pressão. O processo 3-4 é uma expansão isentrópica, e o processo 4-1 termina o ciclo, sendo uma rejeição de calor a volume constante, com o pistão no PMI.

A razão de compressão, ou taxa de compressão, é a razão dos volumes no ponto 1 e no ponto 2, e a medida que cresce, o rendimento térmico aumenta, como pode ser observado na Figura 2.8 (MORAN; SHAPIRO, 2013). Embora a eficiência térmica aumente, há limites práticos para a aplicação em motores de automóveis, no que diz respeito a resistência dos materiais e à ignição prematura da mistura ar combustível, antes da centelha, fenômeno denominado detonação, que é muito prejudicial aos motores. (BORGNAKKE E SONNTAG, 2009)

Figura 2.8: Variação da eficiência térmica com a taxa de compressão.

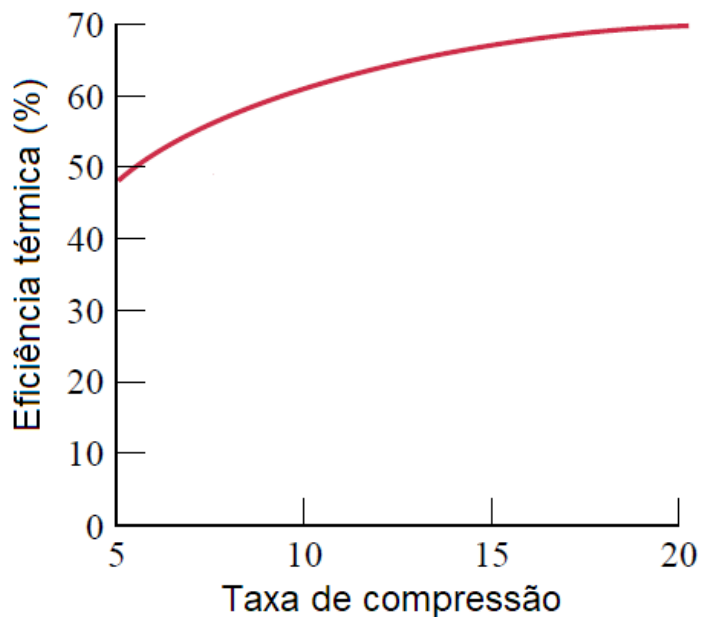


Diagrama considera o ar frio padrão (onde o coeficiente de expansão adiabática é de 1,4) como fluido de trabalho. Fonte: (MORAN; SHAPIRO,2013).

Para o aumento da taxa de compressão em motores de ciclo Otto, é preciso melhorar a octanagem do combustível e/ou desenvolver motores que evitem a detonação. (BORGNAKKE E SONNTAG, 2009)

2.4.3. Relação ar combustível

A relação ar combustível é a razão da massa de ar pela massa de combustível presentes na mistura, como pode ser visto na Equação 5. A relação ar combustível teoricamente ideal, calculada através de balanço químico, é denominada estequiométrica. A razão da relação ar combustível real e a estequiométrica é referida com a letra grega lambda (λ), como pode ser visto na Equação 6. (MORAN; SHAPIRO, 2013)

$$AC_r = \frac{m_{ar}}{m_{comb}} \quad (5)$$

Sendo:

- AC_r : relação ar combustível real;
- m_{ar} : massa de ar;
- m_{comb} : massa de combustível.

$$\lambda = \frac{AC_r}{AC_e} \quad (6)$$

Sendo:

- λ : razão entre a relação ar combustível real e estequiométrica;
- AC_e : relação ar combustível estequiométrica.

Quando a mistura real é igual a mistura estequiométrica, $\lambda=1$. Caso haja menos combustível do que o teoricamente ideal ($\lambda>1$), a mistura é considerada pobre. Caso contrário ($\lambda<1$), a mistura é considerada rica. A relação ar combustível estequiométrica para alguns combustíveis pode ser visto na Tabela 2.1. (MORAN; SHAPIRO, 2013)

Tabela 2.1. :Relação ar combustível calculada para alguns combustíveis.

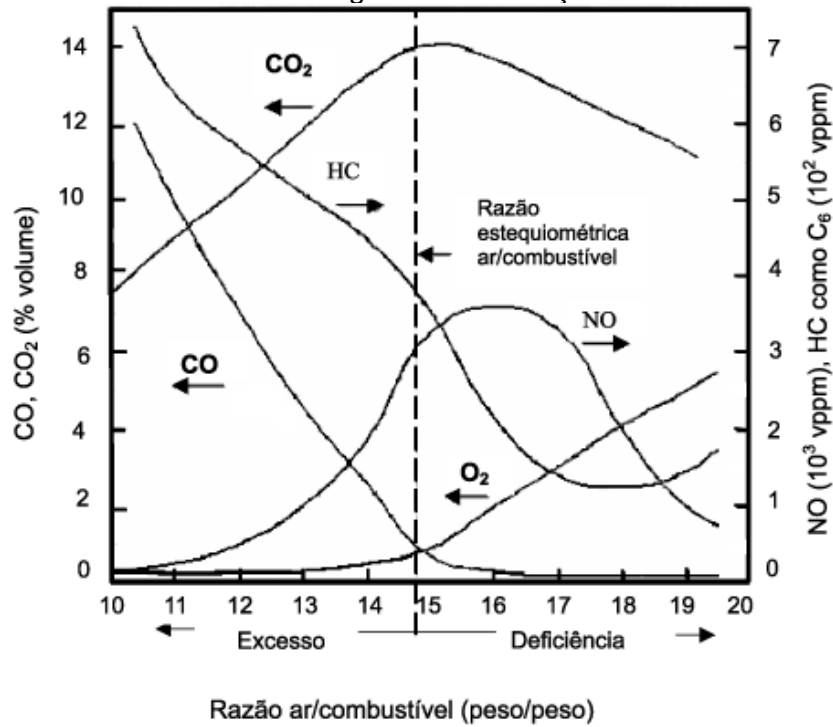
Combustível	Relação ar combustível estequiométrica
Gasolina tipo C brasileira (E27)	12,7
Gasolina pura	14,6
Etanol	9,0
Gasolina de aviação	14,7
Diesel	14,5
Metanol	6,5
Querosene	14,5
Nitrometano	2,0

Fonte: (BORGNAKKE E SONNTAG, 2009). Adaptado.

Motores modernos possuem um gerenciamento eletrônico de combustível, que leva em consideração diversas variáveis, visando buscar potência, economia de combustível e minimizar emissões de poluentes. Alimentação por carburadores não foi abordada neste trabalho por serem obsoletos. A relação ar combustível é um dos parâmetros que o sistema de gerenciamento de combustível controla para que os objetivos sejam atendidos. (BORGNAKKE E SONNTAG, 2009)

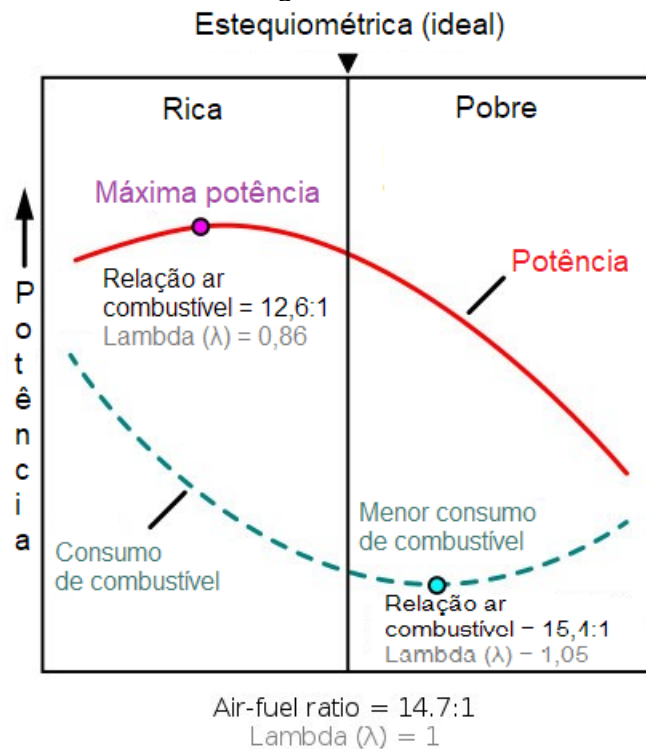
A Figura 2.9 mostra a influência da relação ar combustível nas emissões de um motor a gasolina, e a Figura 2.10 mostra o consumo e potência em função da relação ar combustível para um motor à gasolina., na potência e economia de combustível.

Figura 2.9: Emissões de motor à gasolina em função da razão ar combustível.



Neste motor, que possui conversor catalítico para reduzir as emissões de poluentes, é possível observar que o excesso de combustível (mistura rica) aumenta as emissões de hidrocarbonetos (HC) e monóxido de carbono (CO), porém uma mistura com deficiência (pobre) aumenta a emissão de monóxido de nitrogênio (NO). Fonte: (RANGEL; CARVALHO, 2003).

Figura 2.10: Consumo e potência em função da razão ar combustível para um motor à gasolina.



Para misturas ricas ($\lambda < 1$), à esquerda, temos mais potência, porém menos economia de combustível. Para mistura pobre ($\lambda > 1$), à direita, temos menos potência, porém melhor economia de combustível. Fonte: (X-ENGINEERING, 2017).

Em automóveis modernos, há um ou mais sensores de oxigênio, também chamados de sonda lambda ou sensor lambda (Figura 2.11) no escapamento para monitorar a concentração de oxigênio nos gases de escape. Desta forma, como foi visto na figura, é possível determinar em qual condição de mistura ar combustível o motor está operando, fazendo os ajustes necessários em malha fechada. Em algumas situações, como em aceleração total, a leitura do sensor lambda é ignorada e a quantidade de combustível injetada é controlada a partir de um mapa previamente programado pelo fabricante para a situação. (LOPES, 2010)

Figura 2.11: Sensor lambda aplicada em motor de ciclo Otto.



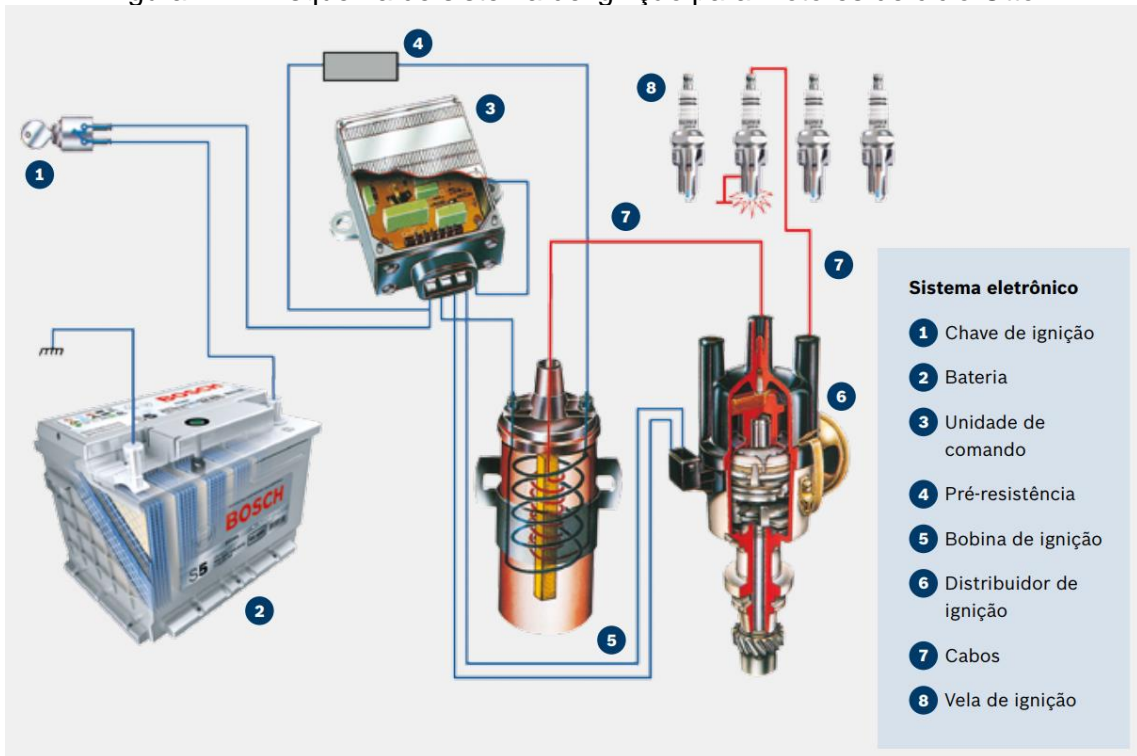
Fonte: (DINAMICAR PNEUS, 2015).

2.4.4. Ponto de ignição

O sistema de ignição de um automóvel tem, basicamente, duas funções: agir como um interruptor para que as bobinas de ignição possam armazenar e descarregar energia, e distribuir a corrente elétrica, em alta tensão, em pulsos para as velas de ignição, no tempo certo. Secundariamente, o sistema faz a leitura da rotação do motor e da posição do virabrequim para ajustar a ignição e otimizar o funcionamento do motor (Heisler, 2005).

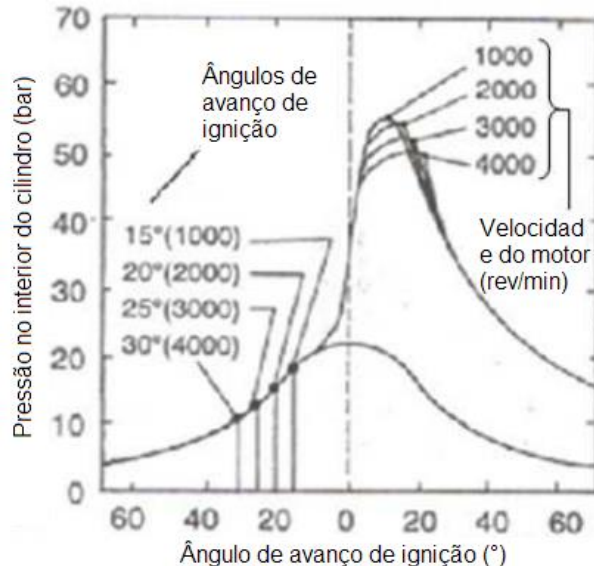
A Figura 2.12: Esquema de sistema de ignição para motores de ciclo Otto. mostra um sistema de ignição para motores de ciclo Otto, e a Figura 2.13: Variação do ponto de avanço de ignição de acordo com a rotação do motor. mostra a variação do avanço no ponto de ignição para um motor de ciclo Otto ensaiado. Sistemas de ignição anteriores à ignição eletrônica não serão abordados neste trabalho por serem obsoletos.

Figura 2.12: Esquema de sistema de ignição para motores de ciclo Otto.



Fonte: (BOSCH, 2012).

Figura 2.13: Variação do ponto de avanço de ignição de acordo com a rotação do motor.



Fonte: (HEISLER, 2005). Adaptado.

Variando-se os parâmetros operacionais, é observado que a otimização da pressão média efetiva no interior dos cilindros é obtida com um avanço de ponto de ignição em particular. Ao avançar o ponto de ignição a partir do ponto ótimo, há risco de detonação e consequentes danos ao motor. Avanço excessivo no ponto de ignição também traz diminuição no rendimento do motor. (STONE, 1999)

2.5. Fatores que afetam o consumo de combustível

Uma quantidade considerável de fatores tem influência sobre o consumo de combustível de um veículo, incluindo características de projeto, condições ambientes e fatores comportamentais. Zacharof e Fontaras (2016) compilaram os resultados de vários trabalhos para gerar suporte científico empírico para a criação de políticas relacionadas a consumo de combustíveis na Europa, que estão organizados em tópicos, nesta seção.

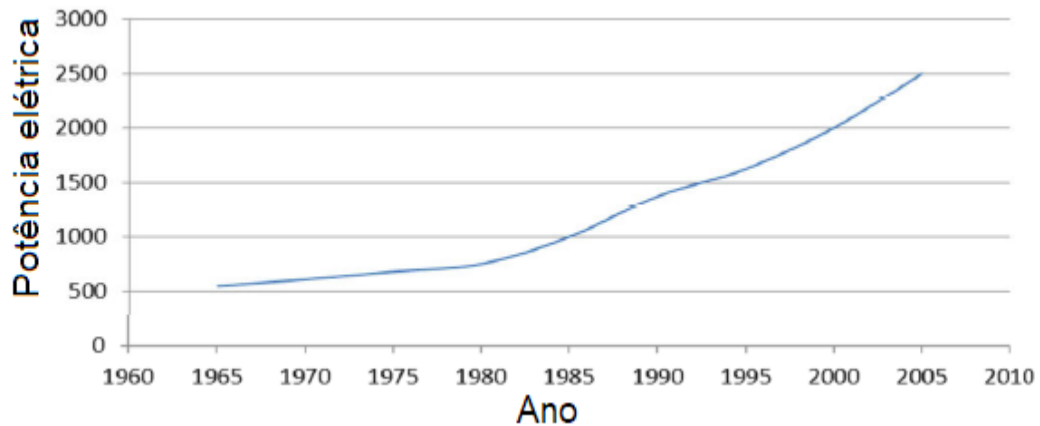
2.5.1. Sistemas auxiliares

Se referem ao elementos e acessórios que melhoram a dirigibilidade, o conforto e a segurança, ao pilotar o veículo, como ar condicionado, filtros de ar, aquecimento, luzes de posição, faróis, lanternas traseiras, limpadores de para brisa, ajuste elétrico de banco, vidros com acionamento elétrico, assistente de estacionamento, entre outros. Embora estes sistemas não sejam operados continuamente, devido ao seu consumo de energia, exercem influência no consumo geral de combustível do automóvel, uma vez que a energia para os operar vem, direta ou indiretamente, da potência de eixo do motor. (ZACHAROF e FONTARAS, 1997)

A estimativa é de que, para padrões de usos comuns na Europa, o aumento de combustível devido ao uso de sistemas auxiliares é de cerca de 9% para o ar condicionado, até 4,5% para o uso de assistência de direção, e até 6,5% para outros sistemas auxiliares. O aumento de tecnologia nestes sistemas tem condições de reduzir em até 2% este consumo, como, por exemplo, sistemas puramente mecânicos serem substituídos por sistemas eletromecânicos, como a assistência de direção hidráulica sendo substituída por assistência de direção elétrica. (ZACHAROF e FONTARAS, 1997)

Na Figura 2.14 podemos observar como o aumento de consumo elétrico em automóveis americanos cresceu ao longo dos anos.

Figura 2.14: Aumento do consumo elétrico médio em automóveis norte americanos ao longo do tempo.



Fonte: (LITTLE, 2015)

2.5.2. Aerodinâmica

O formato aerodinâmico do carro, em relação ao ar ambiente e ventos, influencia no consumo de combustível devido ao atrito causado pela diferença relativa de velocidade entre o carro e o fluido onde está. Em literatura técnica, o termo é utilizado para se referir ao formato e à área frontal projetada do veículo (ZACHAROF e FONTARAS, 2016). É de interesse dos fabricantes de automóveis que reduzam o arrasto aerodinâmico de seus veículos, de forma a agregar economia de combustível, diminuindo o custo de operação ao usuário final.

Acessórios que influenciam negativamente no consumo de combustível são bagageiros e outros objetos no teto (5%), janelas abertas (5,1% a 130 km/h), ventos laterais (2%, embora varia bastante conforme o formato do carro). Acessórios que podem influenciar positivamente o consumo de combustível, se corretamente desenvolvidos, são aerofólios e geradores de vórtice (0,4%), embora o estudo seja limitado. Foi calculado que um aumento de 10% de arrasto aerodinâmico significa um aumento de emissões entre 2,3% e 3,5%. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

2.5.3. Condições climáticas

São as condições externas como temperatura, vento e pressão barométrica, que afetam o consumo de combustível pois influenciam parâmetros de operação dos motores, como viscosidade do óleo lubrificante, temperatura e pressão de admissão, entre outros. Além disso, fatores externos afetam a resistência aerodinâmica, de rolagem, uso maior de sistemas auxiliares e comportamento do motorista. É estimado

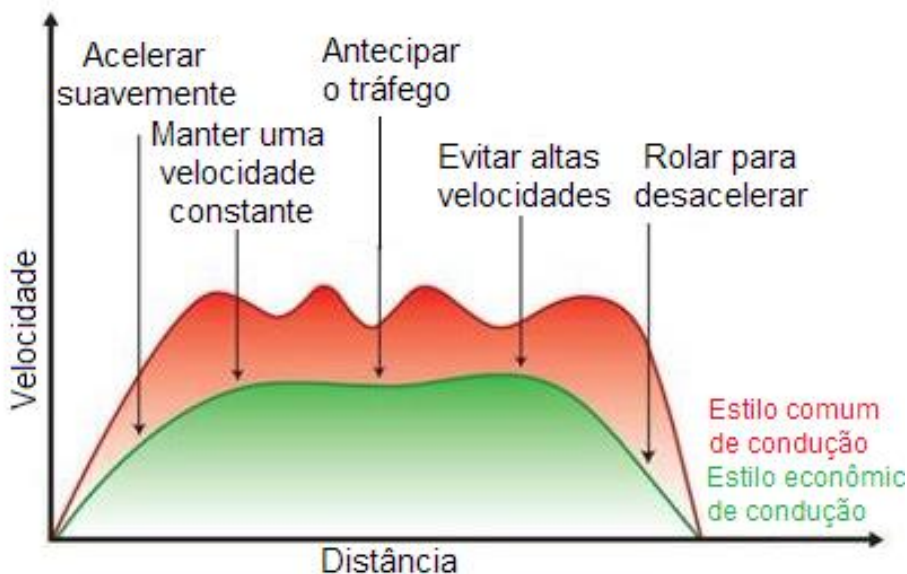
que para cada °C abaixo de 20°C, há um aumento de 0,5% no consumo de combustível. Chuva pode aumentar o consumo de combustível em 30%, dependendo das condições. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

Dados empíricos e simulações mostram que a partida do motor em temperatura ambiente, chamada de partida fria, influencia significativamente o comportamento do motor no período de aquecimento. Para uma partida a 23°C, há aumento de até 10% no consumo de combustível, enquanto para -7°C, o efeito é dobrado, utilizando o *New European Driving Cycle* (NEDC) – Novo Ciclo Europeu de Condução. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

2.5.4. Comportamento ao volante

O comportamento ao volante está relacionado com os padrões de direção que um motorista em particular imprime sobre a operação de um veículo, como aceleração, frenagem e velocidade máxima. Direção agressiva, que envolve acelerações e desacelerações bruscas, alta velocidade máxima, operação em rotações altas e tempo desnecessário em marcha lenta, pode aumentar em até 24% o consumo de combustível, em relação a um padrão estudado, enquanto dirigir suavemente beneficia o consumo de 6% a 8%, podendo chegar a até 30%. A Figura 2.15 mostra o efeito de cinco técnicas de pilotagem que podem diminuir o consumo de combustível. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

Figura 2.15: Cinco técnicas que podem diminuir o consumo de combustível.



Fonte: (NRCAN, 2013). Adaptado.

Planejar o trajeto antecipadamente, tornando-o mais previsível e eficiente, pode afetar em até 10% o consumo de combustível, por evitar caminhos mais longos e/ou que consumam mais combustível (ZACHAROF e FONTARAS, 2016). Evitando frenagens, que desperdiçam a energia cinética (Equação 5) do automóvel, há redução da necessidade de geração de potência do motor para recuperar a velocidade e, conseqüentemente, energia cinética.

$$E_c = \frac{m \cdot s^2}{2}$$

Sendo:

E_c : Energia cinética;

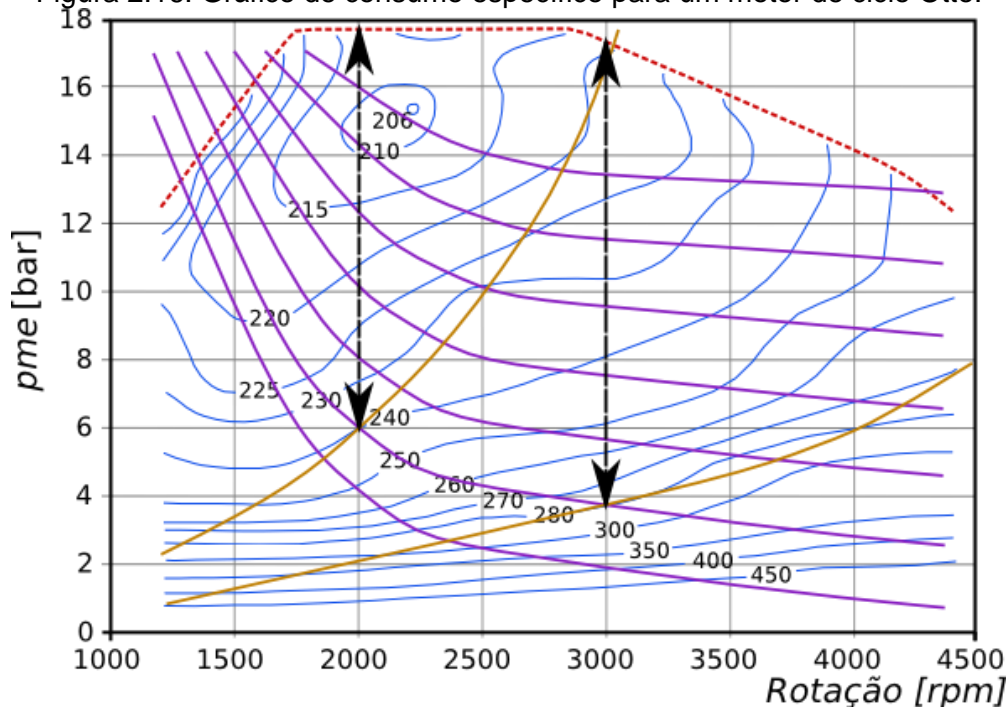
m : massa;

s : velocidade.

(5)

Na Figura 2.16 é possível ver um gráfico de consumo específico, do inglês *brake specific fuel consumption* (BSFC), mostrando que a operação correta do veículo automotor é primordial para a economia de combustível devido as diferenças de consumo específico em diferentes condições de operação.

Figura 2.16: Gráfico de consumo específico para um motor de ciclo Otto.



A curva tracejada vermelha indica a pressão média efetiva (PME) máxima que o veículo desenvolve em determinada rotação, que está relacionada diretamente com o torque. As curvas azuis são ilhas de consumo específico, dadas em g/kWh. As linhas roxas são curvas de potência constante. As linhas laranjadas são curvas de resistência para duas marchas, em particular, do veículo. As setas pretas mostram a reserva de potência. Fonte: (X-ENGINEER, 2017)

As curvas que podem ser vistas na Figura 2.16 são particularmente importantes para determinar qual a forma mais econômica de operar um veículo automotor, e são particulares para cada automóvel, embora seu formato geral seja semelhante para motores de ciclo Otto. Na Figura 2.16, vemos que a mesma potência pode ser desenvolvida em duas marchas diferentes, pontos de operação representados na intersecção da curva de potência com as curvas de resistência destas marchas, de relação numérica menor (mais longa) à esquerda, e de relação numérica maior (mais curta) à esquerda.

Do gráfico podemos ver que para a marcha mais longa temos um consumo específico de 240 g/kWh, enquanto para a marcha mais curta temos um consumo de 280 g/kWh (16,7% maior), o que significa que, para a situação, utilizar a marcha mais longa traria uma economia significativa de combustível, embora haja menos reserva de potência. Por este motivo, de forma geral, é preferível operar o motor em rotações baixas e com cargas altas, com PME elevada, para minimizar o consumo de combustível.

2.5.5. Condições do veículo

Se refere às condições de manutenção do veículo, permitindo que opere em seus parâmetros de projeto, de acordo com o fabricante. Consiste em trocas de óleo e filtros no tempo correto, pressão e condições de conservação dos pneus, aplicação correta do óleo lubrificante do motor, câmbio e diferencial, entre outros. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

A utilização de óleo lubrificante de baixa viscosidade pode reduzir o consumo de combustível, em média, de 4%. Reduzir a resistência de rolagem dos pneus em 20%, seja com pressão maior ou com pneus de baixo atrito, pode ter diminuição de 2,1% no consumo de combustível, e uma redução de 0,2 bar (2,9 psi) pode aumentar em 1,4%. Outros fatores como filtro de ar sujo e falta de alinhamento das rodas podem aumentar o consumo de 4 a 5%. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

2.5.6. Massa em ordem de marcha

A massa em ordem de marcha é a massa total do veículo, incluindo fluidos, motorista, passageiros e bagagem. Uma maior massa precisa de mais energia para ser acelerada (Equação 5). Além de acelerar, o veículo também precisa de mais

potência para manter uma mesma velocidade, devido ao aumento de atrito de rolamento dos pneus. A literatura mostra que um aumento de 100 kg na massa total de um veículo de passeio aumenta o consumo de em até 7%, sendo que a média fica entre 2% e 4%. Se essa massa for no teto do veículo, há maior efeito, devido ao arrasto aerodinâmico. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

Reboques aumentam significativamente o consumo de combustível, devido ao aumento de massa, arrasto aerodinâmico e resistência de rolagem dos pneus. Na Tabela 2.2 podemos ver o resultado do aumento de consumo referente à adição de um reboque em um veículo utilitário esportivo (SUV), veículo apropriado para tal aplicação. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

Tabela 2.2: Aumento no consumo de combustível resultante da adição de um reboque.

Velocidade (km/h)	Referência	Trailer descarregado		Trailer carregado	
	Consumo de combustível (l/100km)	Consumo de combustível (l/100km)	Aumento	Consumo de combustível (l/100km)	Aumento
70	6,96	9,24	32,8%	9,52	36,8%
80	7,37	10,06	36,5%	10,16	37,9%
90	7,87	11,25	42,9%	11,41	45,0%

Foi utilizado um veículo utilitário esportivo (SUV) de 2.268 kg e 2,53 m² de área frontal, equipamento com um motor de 4,0L V6, rebocando um trailer de massa total de 1.588 kg, 3,66 m de comprimento, 1,83 m de largura e 1,83 m de altura. A área frontal foi aumentada em 37% (3,47 m²) quando estava rebocando o trailer. Fonte: (LENNER, 1998). Adaptado.

2.5.7. Condições da via

As condições das vias onde o veículo trafega influencia no consumo de combustível por apresentar diferentes características do terreno (qualidade do asfalto, inclinação, reta, curva) e as condições de tráfego no momento (velocidade média, velocidade máxima, semáforos, ondulações transversais, etc.). Diferentes condições de asfalto podem afetar o consumo em 1,9%, e inclinações de 2%, na direção da subida, aumenta o consumo em 18%. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

Condições de tráfego afetam a velocidade média e máxima do veículo, assim como sua aceleração, frenagem, tempo parado em marcha lenta, entre outros, e consequentemente afetam o consumo de combustível. A literatura mostra valores de

até 50% de aumento de consumo de combustível, comparado com valores base. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

Zacharof e Fontaras (2016) simularam um cenário do impacto da altitude e trajeto com subidas e descidas, mostrando que para uma altitude de 2.000 m há uma redução de consumo de 4,4% no ciclo NEDC e de 6,7% no ciclo *Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure* (WLTP), que são ciclos padrão de condução para medição de consumo, devido a menor pressão barométrica. As simulações também mostraram que, embora o consumo é reduzido em descidas, em uma estrada com subidas e descidas os veículos convencionais consomem mais, se comparados em vias planas, situação que pode ser diferente com veículos híbridos, que podem armazenar a energia enquanto nas descidas.

2.5.8. Características do combustível

A variação da composição dos combustíveis pode afetar no consumo, uma vez que variam em poder calorífico, número de octanas, ponto de fulgor, velocidade de chama, entre outros parâmetros, que influenciam diretamente no funcionamento do motor. Além disso, como pode ser visto na Tabela 2.3, em consequência das diferentes características, a autonomia também é afetada. (ZACHAROF e FONTARAS, 2016)

Tabela 2.3: Autonomia de um automóvel com um tanque com capacidade de 50 L.

Combustível	Autonomia
E85	570 km
E10	770 km
E0	800 km
B10	885 km
Diesel	890 km

Estimativa feita para um carro de passeio, baseado em consumos típicos de um automóvel de passeio. Fonte: (PIDOL, 2014). Adaptado.

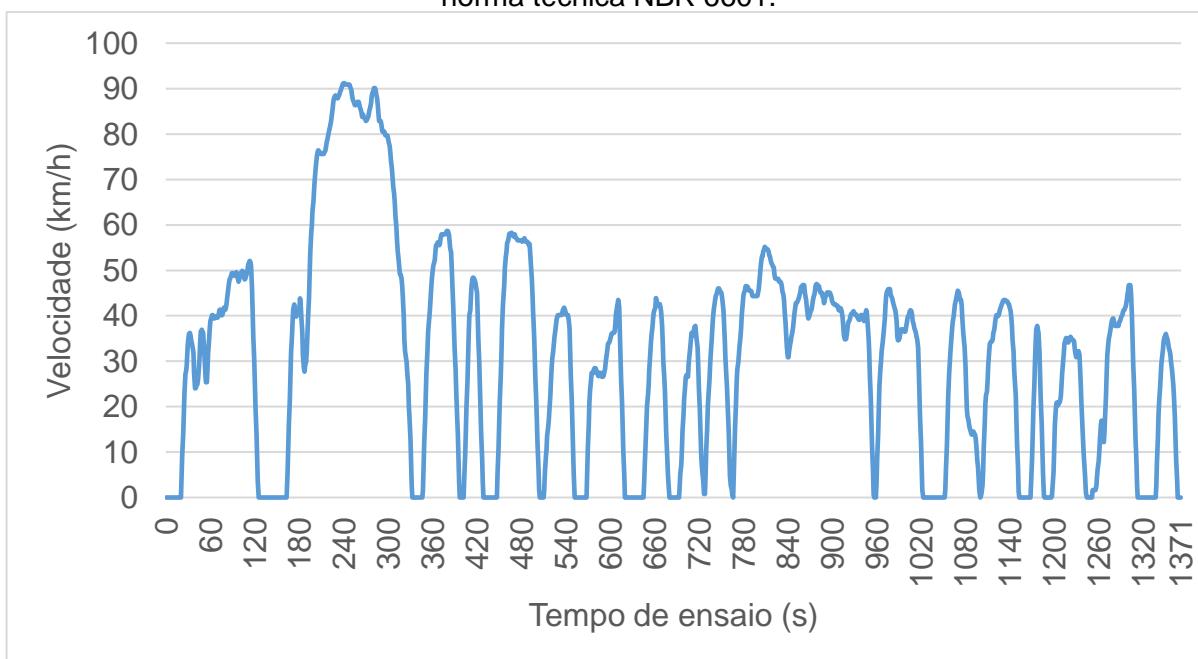
2.6. Características de condução urbana e rodoviária

Um automóvel é submetido a condições de operação diferentes em cenários urbanos e rodoviários, causado pelas diferentes necessidades de aceleração, frenagem e velocidade máxima. A condução urbana é caracterizada por baixas velocidades máximas e muitas frenagens e acelerações, onde as primeiras marchas

do veículo são frequentemente utilizadas, enquanto na condução rodoviária há mais trechos de velocidade constante, velocidades máximas mais elevadas, e utilização de, predominantemente, as marchas mais longas.

A norma técnica NBR 6601 (ABNT, 2011), intitulada “Veículos rodoviários automotores leves - Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono no gás de escapamento”, define a metodologia para a medição do consumo e nível de emissões urbano de referência de veículos automotores, simulando as condições de carga onde o motor seria submetido. As recomendações de operação do motor são fornecidas pelo solicitante do teste, e as velocidades prescritas no ensaio devem ser seguidas, com pequenas tolerâncias, como mostra a Figura 2.17.

Figura 2.17 Velocidades de ensaio de consumo e emissões em ciclo urbano padrão da norma técnica NBR 6601.



Fonte: (ABNT, 2001). Adaptado.

Como podemos observar na Figura 2.17, o ciclo urbano de condução da NBR 6601 é caracterizado por várias paradas até a imobilidade, com baixa velocidade média de (31,5 km/h), e velocidade máxima de 91,2 km/h, esta característica de uma via de trânsito rápido. As variações rápidas de velocidade até as regiões de imobilidade indicam uso dos freios, que podem simular semáforos e placas de “Pare”. O ciclo de condução possui 1371 s (22 minutos e 51 segundos) de duração e é executado duas vezes: uma com o motor partindo à frio (20°C a 30°C) e outra na

temperatura de operação normal do motor. O resultado final é a média de consumo e emissões obtidos nos dois ensaios.

A norma técnica NBR 7024 (ABNT,2002), intitulada “Veículos rodoviários automotores leves - Medição do consumo de combustível” utiliza-se de metodologia semelhante, porém o ciclo é executado apenas uma vez, com partida a quente, e oferece velocidades de referência a serem seguidas para um ciclo de condução rodoviária. As velocidades do ciclo de ensaio da NBR 7024, que tem duração de 765 s (12 minutos e 45 segundos), podem ser visualizadas na Figura 2.18.

Figura 2.18. Velocidades de ensaio de consumo e emissões em ciclo rodoviário padrão da norma técnica NBR 6601.



Fonte: (NBR 6601, 2011). Adaptado.

Como pode ser observado na Figura 2.18, o ciclo de ensaio rodoviário possui apenas uma parada até a imobilidade, no final, e possui velocidade média e máxima mais elevadas que no ciclo urbano (77,5 km/h e 96,4 km/h, respectivamente). A demanda maior de potência, devido a maior velocidade, faz o motor operar em regiões de PME mais elevadas, que, como já foi visto, traz consumos específicos menores. Observamos, também, que há apenas uma redução significativa de velocidade, no ciclo, próximo dos 540 s, que pode ser a simulação de uma frenagem perante a uma situação adversa na via.

3. Metodologia

Neste capítulo são apresentados os materiais e a metodologia utilizada neste trabalho, mostrando como foram feitos os ensaios de medição de consumo, os métodos e suas justificativas.

3.1. Materiais

Esta sessão mostra os materiais utilizados nos ensaios.

3.1.1. Automóvel

O automóvel utilizado nos ensaios é um Renault Logan ano/modelo 2010/10 Authentique, equipado com um motor de 1,0 L e câmbio manual de 5 velocidades, que pode ser visto nas Figura 3.1 a Figura 3.4. A ficha técnica do automóvel pode ser vista no Anexo A.

Figura 3.1. Renault Logan Authentique 1,0 L. Vista frontal.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.2. Cofre do motor do Renault Logan Authentique 1,0 L.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.3. Pneus XBRI Ecology 185/70R14 que equipavam o veículo.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.4. Painel do Renault Logan Authentique 1,0 L.



Fonte: Próprio autor.

3.1.2. Scanner OBD

Para a coleta dos parâmetros de funcionamento do motor, assim como velocidade e consumo de combustível, foi utilizado um scanner On Board Diagnostics (OBD) Vgate ELM 327 Mini BT, compatível com carros que utilizam os protocolos de comunicação OBD-II. A Figura 3.5 mostra o aparelho, a Figura 3.6 mostra o mesmo instalado na porta de comunicação, localizada no porta luvas do automóvel. As especificações técnicas do equipamento podem ser vistas no Anexo B.

Figura 3.5. Scanner OBD Vgate ELM 327 Mini BT, utilizado nos ensaios.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.6. Scanner OBD Vgate ELM 327 Mini BT.



Fonte: Próprio autor.

3.1.3. Smartphone

Utilizado para receber os sinais do *scanner* OBD, via conexão *Bluetooth*, mostrar informações em tempo real e criar relatórios, através de aplicativo. O modelo utilizado é um Samsung Galaxy S7 SM-G930F (Figura 3.7), executando o Android 7.0 (iteração NRD90M.G930FXXU2DRAC). As especificações técnicas do modelo podem ser vistas no Anexo C.

Figura 3.7. *Smartphone* Samsung Galaxy S7 SM-G930F, utilizado nos ensaios.

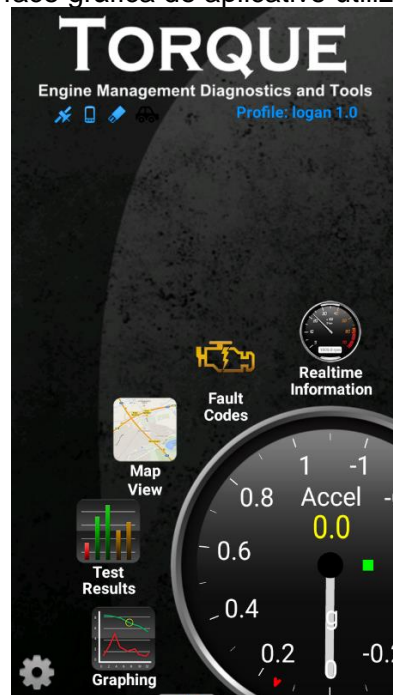


Fonte: (SAMSUNG, 2017).

3.1.4. Aplicativo para aquisição de dados

Os parâmetros adquiridos pelo Scanner OBD e transmitidos para o celular através de conexão Bluetooth foram interpretados pelo aplicativo Torque Pro, também responsável por criar relatórios dos dados em formato *Comma-Separated values* (CSV), ou Valores Separados por Vírgulas. Foi utilizada a versão 1.8.38 do aplicativo, que era a versão mais atual na data dos ensaios. Apesar do aplicativo suportar plugins externos para a aquisição e tratamento de dados, foram utilizados apenas os plugins originais do mesmo. Uma imagem da interface inicial do aplicativo pode ser visto na Figura 3.8.

Figura 3.8. Interface gráfica do aplicativo utilizado nos ensaios.



Fonte: Próprio autor.

Abaixo podem ser vistas algumas funções que podem ser desempenhadas pelo aplicativo: (TORQUE, 2017)

- Ver dados OBD do motor no smartphone Android, conectado à ECU do veículo;
- Painéis personalizáveis, múltiplas telas e possibilidade de criar os próprios layouts, marcadores e temas;
- Recuperar códigos de falha (DTCs) e limpá-los, apagando a luz de "cheque o motor". Ver a descrição das falhas utilizando base de dados inclusa;
- Envio, em tempo real, de dados OBD2 para o seu servidor web ou visualizador web do Torque em tempo real;
- Medir o desempenho do veículo com widgets de potência, torque, tempo de 0-100 e quarto de milha, entre outros.

3.1.5. Tratamento de dados

Os relatórios de dados em formato CSV foram lidos pelo Microsoft Excel, sendo, então, feito o tratamento dos dados, tabelas e gráficos. Foi utilizado a versão 2016 do software, além do auxílio de algumas funções em Microsoft Visual Basic for Applications (VBA) para a organização dos dados.

3.2. Rotina dos ensaios

3.2.1. Trajetos

Foram selecionados dois trechos de vias rurais pavimentadas (rodovias) de mesma distância (5400 m), sendo que em um deles existem 4 faixas elevadas para travessia de pedestres (Figura 3.9), enquanto no outro não existe nenhum obstáculo que tenha como objetivo diminuir a velocidade do veículo. Outro fator para a escolha desses trechos foi serem próximos e de rápida transição, reduzindo a incerteza das medições devido a interferências climáticas, como vento, temperatura e umidade do ar.

Figura 3.9. Faixa elevada para travessia de pedestres.



Fonte: Próprio autor.

O primeiro trajeto se encontra na rodovia estadual MS-162, entre a rotatória que conecta a MS-162 e a MS-379, próximo ao posto de combustível Três Figueiras, e a entrada do Centro de Tradições Gaúchas Querência do Sul (CTG), que fica em frente do 28º Batalhão Logístico de Dourados. Este trajeto, que possui 4 faixas elevadas para travessia de pedestres, possui um limite de velocidade, de 60 km/h. O trajeto também possui aclives e declives, porém o relevo do ponto final é de apenas 1 m maior que o do ponto inicial – 463 m e 464 m, respectivamente (GOOGLE, 2018). A Figura 3.10 mostra o trecho que possui faixas elevadas para travessias de pedestres.

Figura 3.10. Trajeto com faixas elevadas para travessia de pedestres.



Posição das faixas elevadas para travessia de pedestres estão representadas com uma linha vermelha. Fonte: (GOOGLE, 2018). Adaptado.

O outro trajeto se encontra na rodovia estadual MS-379, indo da mesma rotatória que faz conexão com a MS-379, citada no parágrafo anterior, até a rotatória que conecta com a BR-463 e dá acesso à Laguna Carapã. Neste trecho, em condições normais da via, não é necessário reduzir a velocidade de 80 km/h (máxima da via). Apesar disso, o ensaio foi feito a 60 km/h, para igualar à velocidade máxima utilizada no outro trajeto. Neste trecho, o final possui uma altitude 51 m menor do que o início – 466 m e 415 m, respectivamente (GOOGLE, 2018). Figura 3.11 mostra o trecho que não possui obstáculos de redução de velocidade.

Figura 3.11. Trajeto livre de faixas elevadas para travessia de pedestres.



Fonte: (GOOGLE, 2018). Adaptado.

3.2.2. Preparação

Antes de realizar as medições, o automóvel teve seu tanque totalmente abastecido com gasolina comum E27, disponível nos postos de combustível e os níveis de óleo do motor, óleo da direção hidráulica, líquido de arrefecimento e esguicho do limpador foram conferidos, para certificar de que o carro estaria em sua massa de ordem de marcha divulgada (1025 kg). Além disso, o carro carregou o autor como motorista, com massa de 79 kg, e uma passageira de 70 kg que auxiliou na utilização do smartphone e na anotação de dados, totalizando 1174 kg. Como o smartphone e o scanner OBD têm massas muito pequenas, podem ser desprezadas.

Os pneus, foram calibrados de acordo com a pressão indicada no manual do proprietário do automóvel, que são 29 psi para os dianteiros e 32 psi para os traseiros. Antes das medições, o líquido de arrefecimento do motor, pneus e os demais componentes mecânicos do carro já se encontravam em temperatura de operação, pois foi dirigido por vários minutos em trajeto urbano e rodoviário até o local dos ensaios.

3.2.3. Execução

Os ensaios foram realizados no dia 12/08/2017, das 20:00 às 22:00, onde a temperatura ambiente variou entre 26°C e 24°C e a umidade relativa do ar de 70% a 66%, de acordo com o Climatempo, 2017. A data e o horário foram escolhidos pelo tráfego muito baixo de veículos, sendo sábado de noite, quando não há aulas na Universidade Federal da Grande Dourados e na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, principais responsáveis pelo tráfego no trajeto. O asfalto se encontrava totalmente limpo, devido as chuvas do dia anterior, e seco, devido a evaporação, no dia do ensaio.

Os ensaios se iniciaram com o carro parado no acostamento, asfaltado, com o motor ligado em marcha lenta, além do farol baixo ligado durante todo o trajeto, por ser noite. O aplicativo, então, recebeu o comando para começar a registrar os dados, que são:

- Temperatura de líquido de arrefecimento;
- Velocidade do automóvel;
- Posição da borboleta de aceleração;
- Carga do motor;
- Vazão instantânea de combustível;
- Combustível consumido;

- Avanço de ignição.

O teste se iniciou engatando-se a primeira marcha e arrancando, primeiramente no trajeto sem faixas elevadas para travessia de pedestres. A aceleração até os 60 km/h foi feita engatando-se as marchas, em sequência, operando o motor até os 2500 rpm indicados no tacômetro e procurando manter a posição da borboleta de aceleração em 50%. Para manter a borboleta com a abertura desejada, foi colocado a leitura desse valor, em tempo real, disponível para o condutor, através do aplicativo.

Ao atingir 60 km/h, que acontece em quarta marcha a 2500 rpm, a quinta marcha é engatada e o acelerador assume uma nova abertura, menor, pois o automóvel necessita de menos potência que o anteriormente gerado para andar nessa velocidade. Após o trajeto percorrido, ainda em quinta marcha, a velocidade do automóvel foi reduzida até a total parada no acostamento, aplicando-se pressão constante nos freios, momento em que a embreagem foi desacoplada e a passagem foi dada por completo.

No trecho que possui as passarelas elevadas para travessia de pedestres, o ensaio é semelhante, porém necessitando de frenagens, reduções de marcha e posteriores acelerações. A frenagem para a transposição do obstáculo se iniciava 50 m antes do mesmo, utilizando as referências de GPS, que foram marcadas com giz no asfalto, pois foi observado que as placas de sinalização indicando a distância até a faixa não estão instaladas em distâncias adequadas. Os freios foram aplicados suavemente, com pressão constante e quinta marcha engatada, até reduzir a velocidade para 10 km/h. Esta velocidade foi escolhida pois não causa total compressão nem distensão da suspensão do automóvel, além de ser razoavelmente confortável transpor a faixa elevada.

Ao iniciar a travessia pelas faixas elevadas, a embreagem foi acionada e engatada a segunda marcha, que na velocidade de 10 km/h, está a cerca de 800 rpm. Após as rodas traseiras do veículo passarem pela faixa e tocarem o asfalto, caracterizando a transposição completa do obstáculo, a aceleração foi retomada seguindo a metodologia, acelerando da segunda marcha até a quinta.

A metodologia de aceleração foi definida como descrito pelo veículo, nessas condições, oferecer uma aceleração compatível com o trânsito do trajeto, sendo a posição do acelerador razoável para a eficiência do motor, naturalidade e conforto de

condução. Caso o motor do automóvel em questão gerasse mais potência disponível em baixas rotações, a rotação para as trocas de marcha poderia ser mais baixa.

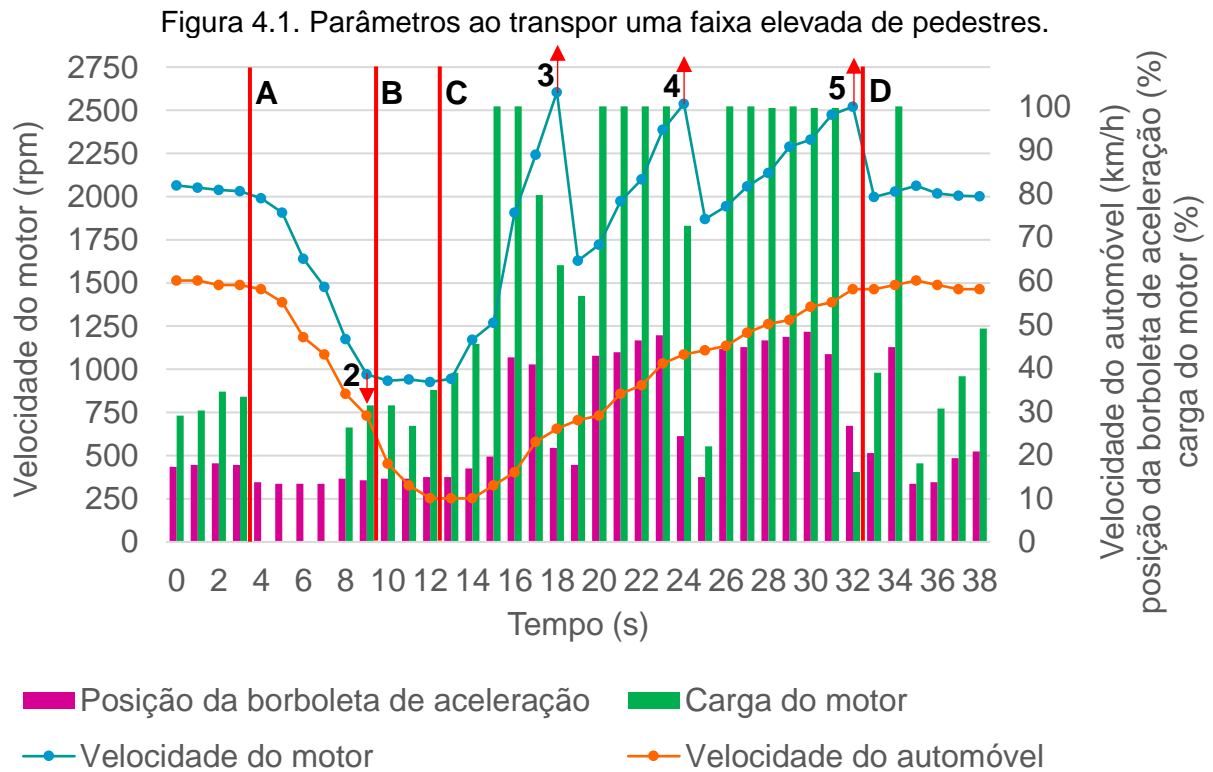
As medições nos dois trechos foram realizadas três vezes, uma imediatamente após a outra, tanto no sentido de ida quanto de volta, visando mitigar os efeitos do vento e relevo. Todas as passagens onde o tráfego que causasse redução de velocidade ou qualquer perturbação do fluxo aerodinâmico ao redor do veículo foram descartadas e reiniciadas. A passagem total que, em análise posterior, mostrou melhor execução da metodologia proposta – através da observação da posição do acelerador, rotação e velocidade – foi utilizada para a análise.

Todos os ensaios foram feitos com os vidros totalmente fechados, visando reduzir a influência dos efeitos aerodinâmicos e dos possíveis ventos, frontais e laterais. Apesar do automóvel ser equipado com sistema de ar condicionado, o mesmo não foi utilizado para que o compressor do sistema esteja desacoplado, não utilizando a potência gerada pelo motor, reduzindo variáveis.

Após as medições, os dados foram exportados para um computador e analisados com o Microsoft Excel, gerando relatórios.

4. Apresentação e Discussão dos Resultados

Para a verificação da metodologia estabelecida e detalhamento, a Figura 4.1 mostra parâmetros reais, adquiridos ao transpor uma faixa elevada de pedestres.



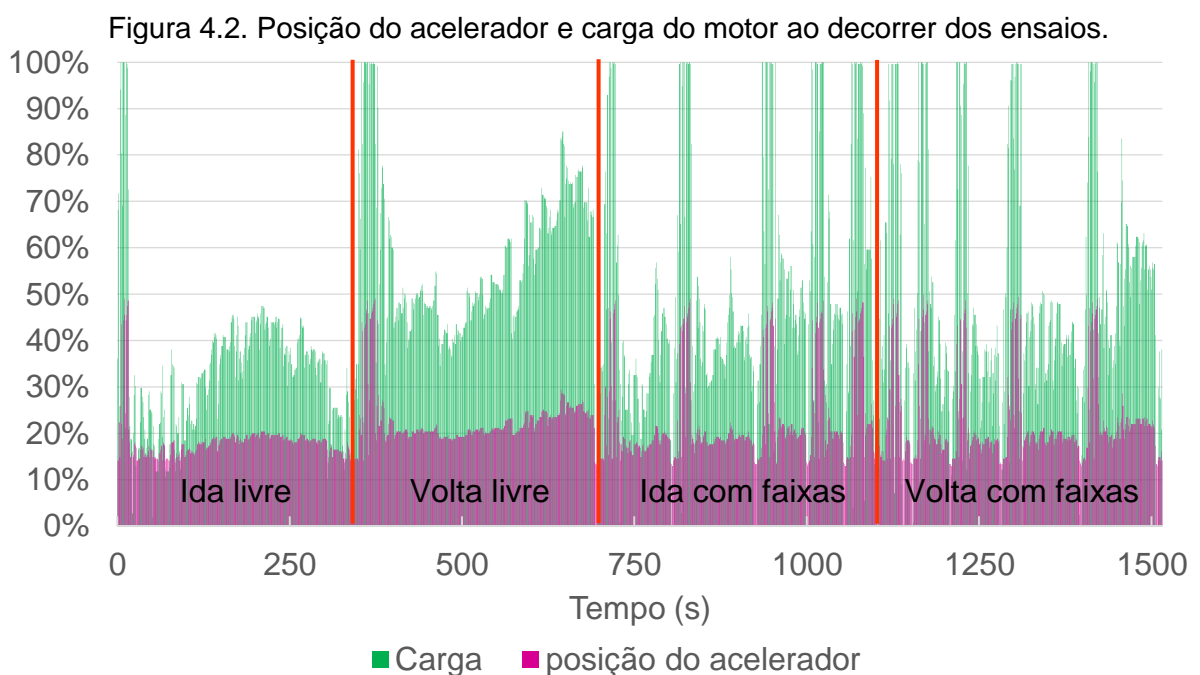
Fonte: Próprio autor.

As marcações vermelhas da Figura 4.1 são explicadas a seguir:

- No início do gráfico, foi mantido a velocidade de 60 km/h, até que em A o pedal do acelerador é totalmente solto e o freio é aplicado com pressão constante, sem acionar a embreagem;
- Em B, a embreagem é acionada e é feita a passagem da quinta para a segunda marcha (indicado na seta), quando a passagem pela faixa elevada se inicia;
- Em C, a faixa elevada já foi transposta, e a aceleração foi retomada, em segunda marcha;
- Após atingir 2500 rpm, é feita a passagem da segunda para a terceira marcha, indicada pela seta. O mesmo ocorre para a passagem da quarta e quinta marcha;

- Em D, a quinta marcha é engata e a borboleta de aceleração é aberta somente o necessário para manter a velocidade de 60 km/h.

Para verificar o cumprimento da metodologia estabelecida, foi necessário verificar como as acelerações foram executadas, através da posição do acelerador, da velocidade do motor e da velocidade máxima do veículo. Na Figura 4.2 podemos ver como a posição do acelerador (medido na borboleta de aceleração) e a consequente carga variaram ao longo dos ensaios.



Os dados adquiridos entre as passagens não estão representados, pois não fazem parte da amostra considerada para o estudo. A divisão entre as passagens está separada pelas linhas verticais vermelhas. Fonte: Próprio autor.

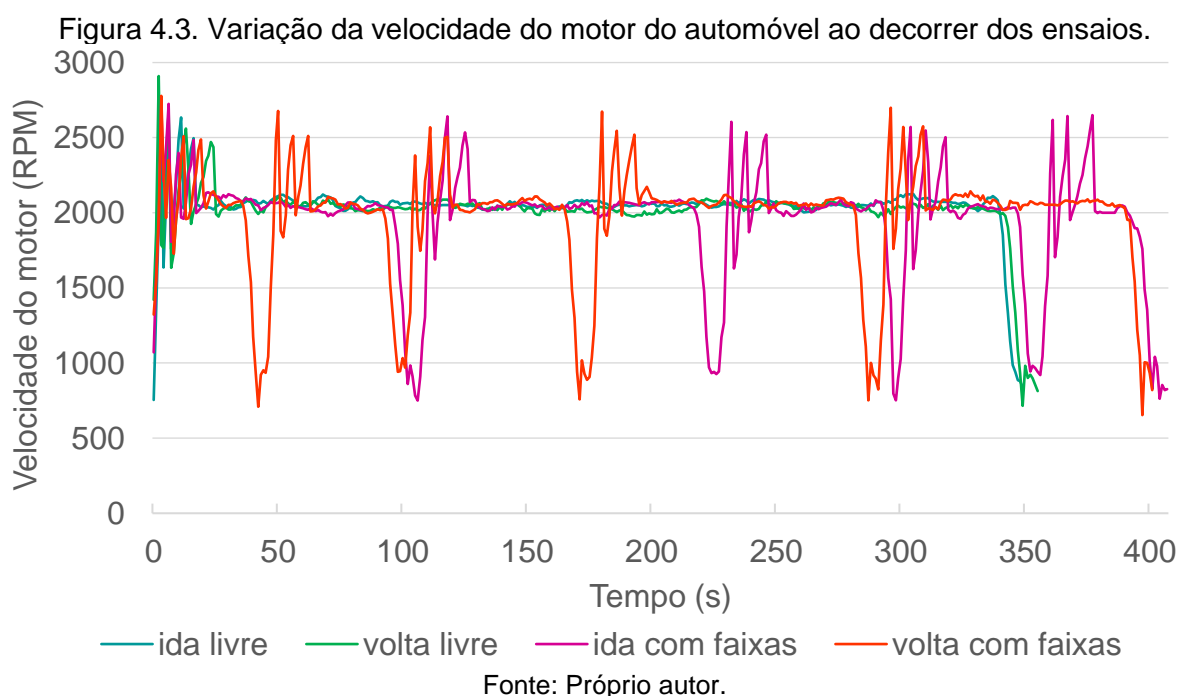
Da Figura 4.2 podemos verificar que nas acelerações a posição do acelerador ficou próxima aos 50%, sendo que em baixas rotações – ao acelerar após a transposição de uma faixa elevada de pedestres, por exemplo – o controle eletrônico da borboleta acionou ainda menor abertura, ainda que o comando no pedal do acelerador continue de 50%. Isso ocorre pois, nessa condição, a abertura de 50% foi maior do que a ideal, evidenciado pela carga do motor, que chegou a 100% em todas as acelerações.

Também da Figura 4.2, pode ser verificado que na passagem de volta livre foi necessário a utilização de maior carga no motor para manter a velocidade de 60 km/h, se comparado à ida – carga média de 56,7% e 33,6%, respectivamente. Isso é

esperado devido ao relevo do trajeto, pois o trajeto possui um declive na ida e consequente aclive na volta, de 51 m. Também consequência desse desnível, é possível observar que o período de aceleração leva menos tempo na ida, pois por se utilizar das mesmas rotações e cargas, a potência gerada é a mesma para ambos os sentidos.

Ainda da Figura 4.2 podemos verificar que nas passagens no trajeto com faixas elevadas há menos diferenças de ordem de grandeza entre a ida e volta, uma vez que o desnível é de apenas 1 m entre o início e o final do trajeto, sendo as variações de carga apenas atribuídas às características de relevo do trecho local – no início da ida e final da volta, por exemplo, mesmo trecho percorrido em sentido contrário – e à passagem pelas faixas elevadas de pedestres. A média de carga registrada no sentido de ida e de volta são, respectivamente, 48,4% e 48,3%.

Na Figura 4.3 podemos ver como a velocidade do motor variou durante os ensaios.

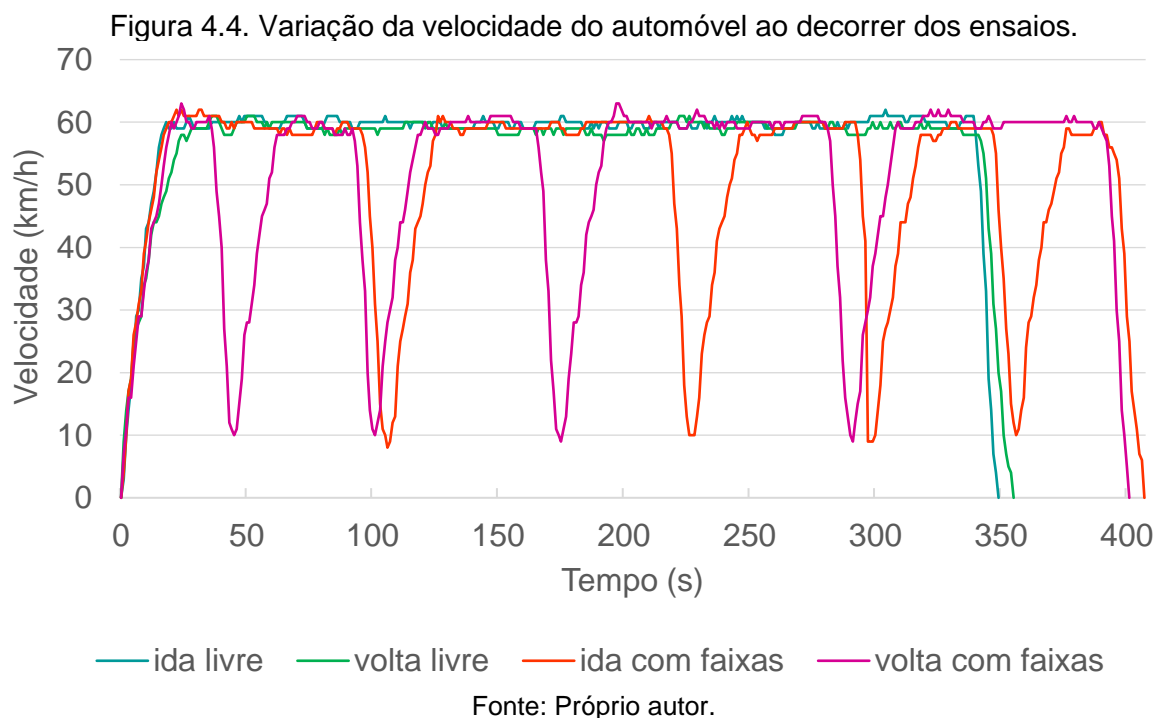


Na Figura 4.3 podemos observar que em alguns momentos foram registradas rotações acima dos 2500 rpm propostos na metodologia, porém foi observado que tal situação ocorre devido, ao acionar o pedal de embreagem para trocar de marcha, o acelerador ainda está aplicando uma certa carga no motor, resultado do pequeno atraso que o sistema deste automóvel possui entre o comando e a resposta. Em nenhum momento foram registradas leituras maiores do que 2500 rpm no tacômetro

do veículo, evidenciando que estes picos foram pontuais e só possíveis de serem registrados através de sistema de aquisição de dados, que é o caso destes ensaios, não tendo demasiada influência no consumo.

A Figura 4.3 também mostra que, na velocidade máxima de ensaio, em quinta marcha, o motor opera a uma rotação pouco acima de 2000 rpm.

A velocidade do automóvel durante os ensaios pode ser vista na Figura 4.4.



Como pode ser observado na Figura 4.4, a velocidade no trajeto com faixa sofre reduções de 60 km/h para aproximadamente 10 km/h. Utilizando a massa do automóvel no momento dos ensaios (1174 kg) e estas velocidades, podemos calcular que a energia cinética (Equação 5) do veículo é reduzida de 163,06 kJ para 4,53 kJ nas frenagens, uma redução de 97,2%. Energia, esta, que deve ser gerada pelo motor para acelerar o automóvel após a transposição da faixa.

A Tabela 4.1 mostra o tempo gasto para percorrer ambos os trajetos.

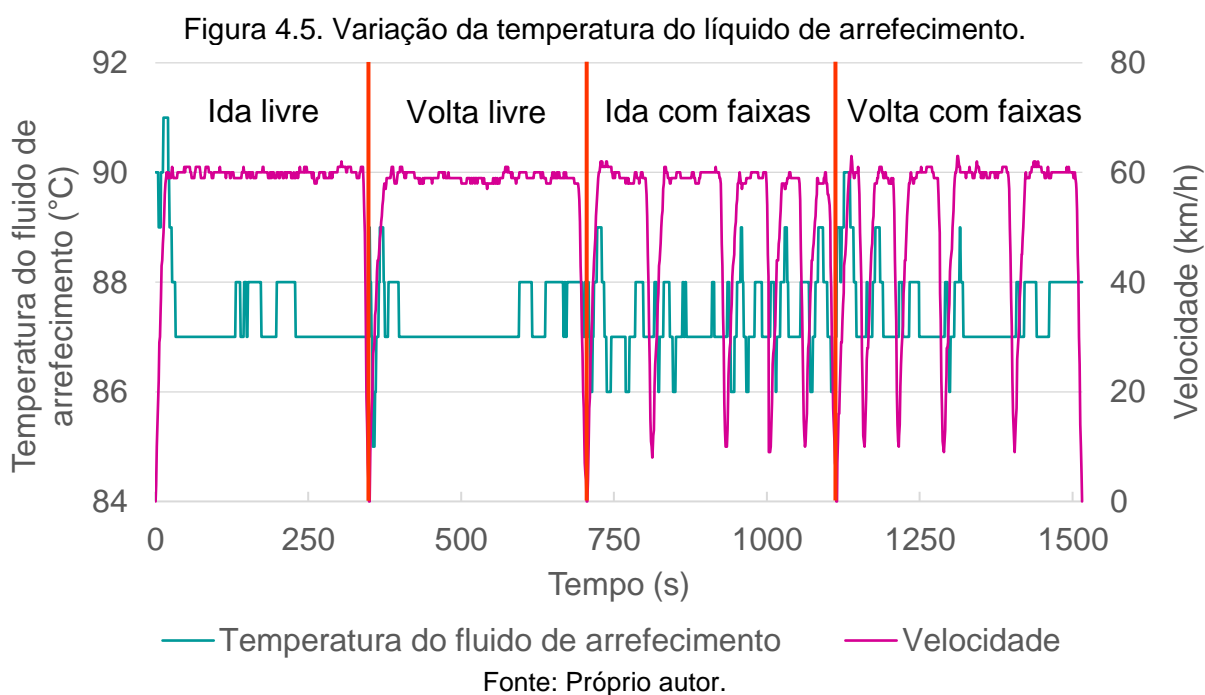
Tabela 4.1. Tempo gasto para completar cada passagem, em ambos os trajetos, nos dois sentidos.

Livre (s)			Com faixas (s)		
Ida	Volta	Média	Ida	Volta	Média
350	356	353	408	402	405

Fonte: Próprio autor.

Da Tabela 4.1, podemos observar que o trajeto com faixas levou, em média, 52 s (14,7%) a mais do que o trajeto livre. Assumindo que o acréscimo de tempo é causado exclusivamente pelas 4 faixas presentes no trajeto, temos que cada faixa adiciona, em média, 13 s ao trajeto.

Na Figura 4.5 podemos ver como a temperatura do fluido de arrefecimento do motor variou ao decorrer dos ensaios.

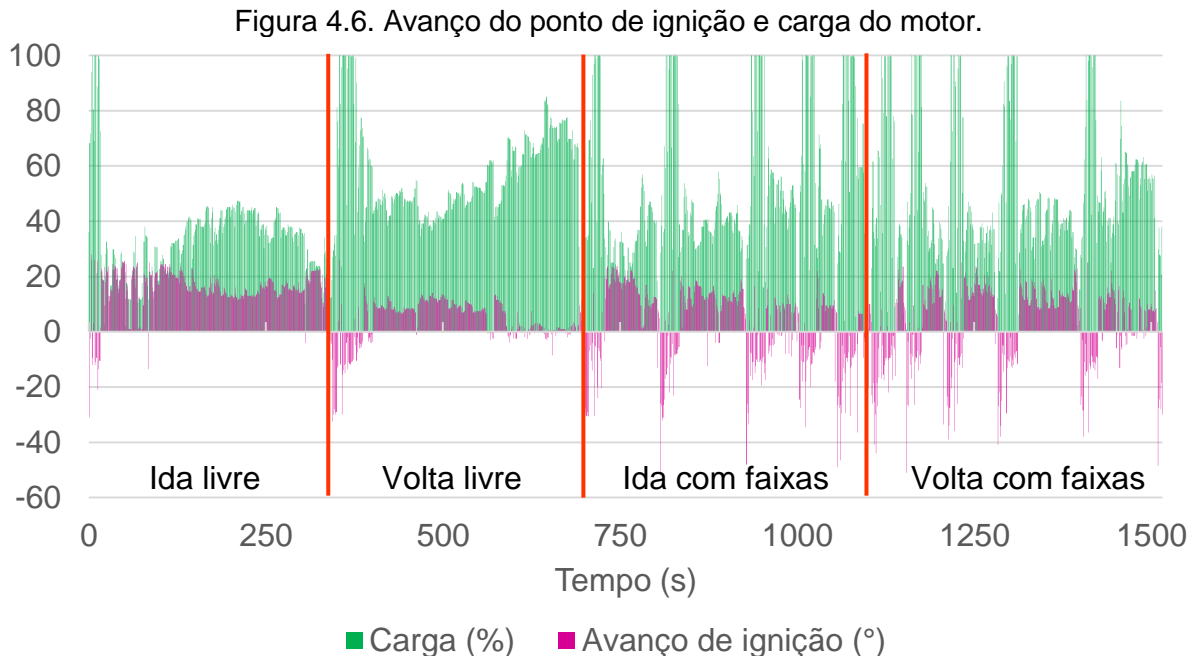


Como pode ser observado na Figura 4.5, no início de todos os ensaios a temperatura do fluido de arrefecimento do motor se encontrou em valores sensivelmente acima do que os adquiridos com o automóvel em maior velocidade, o que é esperado pois os ensaios iniciam-se com o carro parado e com o motor em marcha lenta, situação em que há menor vazão de ar trocando calor com o radiador do motor do veículo. A temperatura do fluido de arrefecimento não aumentou o suficiente, em nenhum momento dos ensaios, para que a ventoinha do radiador fosse acionada.

Ainda da Figura 4.5, podemos ver que a temperatura do fluido de arrefecimento se manteve mais estável no trajeto livre, enquanto no trajeto com faixas houve uma maior variação. Isso acontece pois no trajeto com faixas há variações de velocidade e de potência gerada pelo motor, conseqüentemente de energia térmica rejeitada, transferida para o sistema de arrefecimento. Durante os ensaios, a temperatura do

fluido variou entre 86°C e 91°C, controlada passivamente pela válvula termostática do sistema.

Na Figura 4.6 podemos ver como o ponto de ignição variou em relação à carga aplicada no motor.

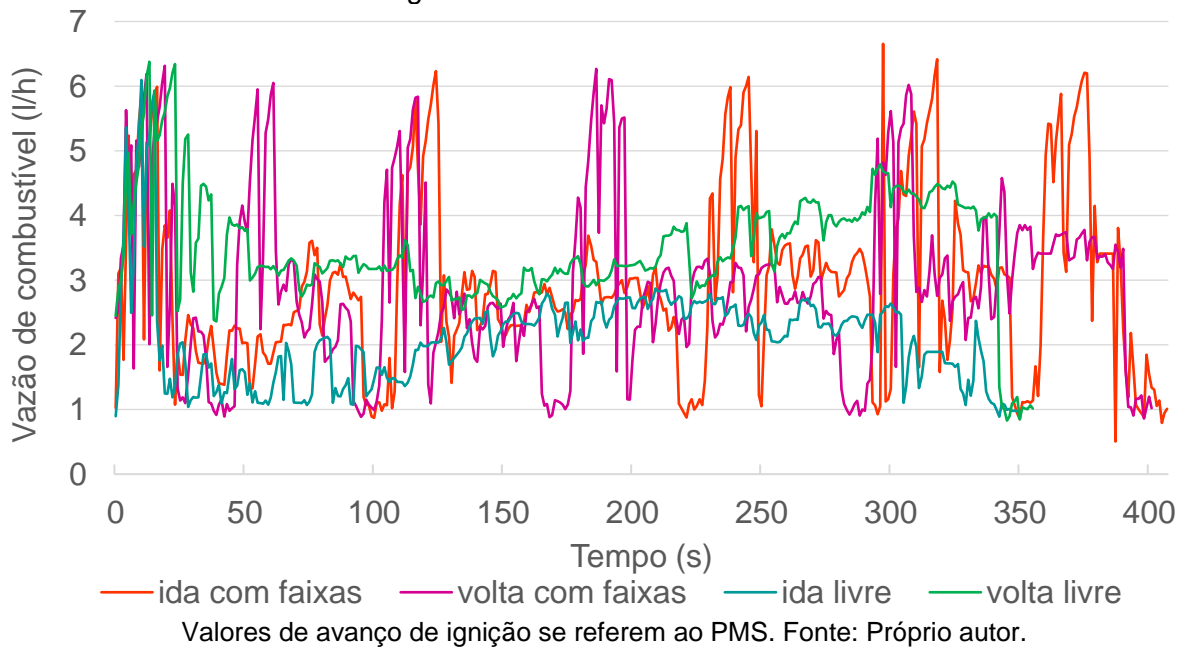


Valores de avanço de ignição se referem ao PMS. Fonte: Próprio autor.

Na Figura 4.6 podemos observar que o motor está calibrado para utilizar um ponto de ignição atrasado, com picos de 50° depois do PMS (avanço negativo) sob cargas maiores, nas velocidades de motor em que o ensaio foi feito, enquanto sob cargas menores utiliza um avanço de até aproximadamente 20° antes do PMS. Para manter a velocidade constante no final do trecho de volta livre, onde foi aplicado maior carga, o avanço de ignição foi reduzido para próximo de 0°, ou seja, do PMS.

Na Figura 4.7 está representado a vazão de combustível durante o ensaio.

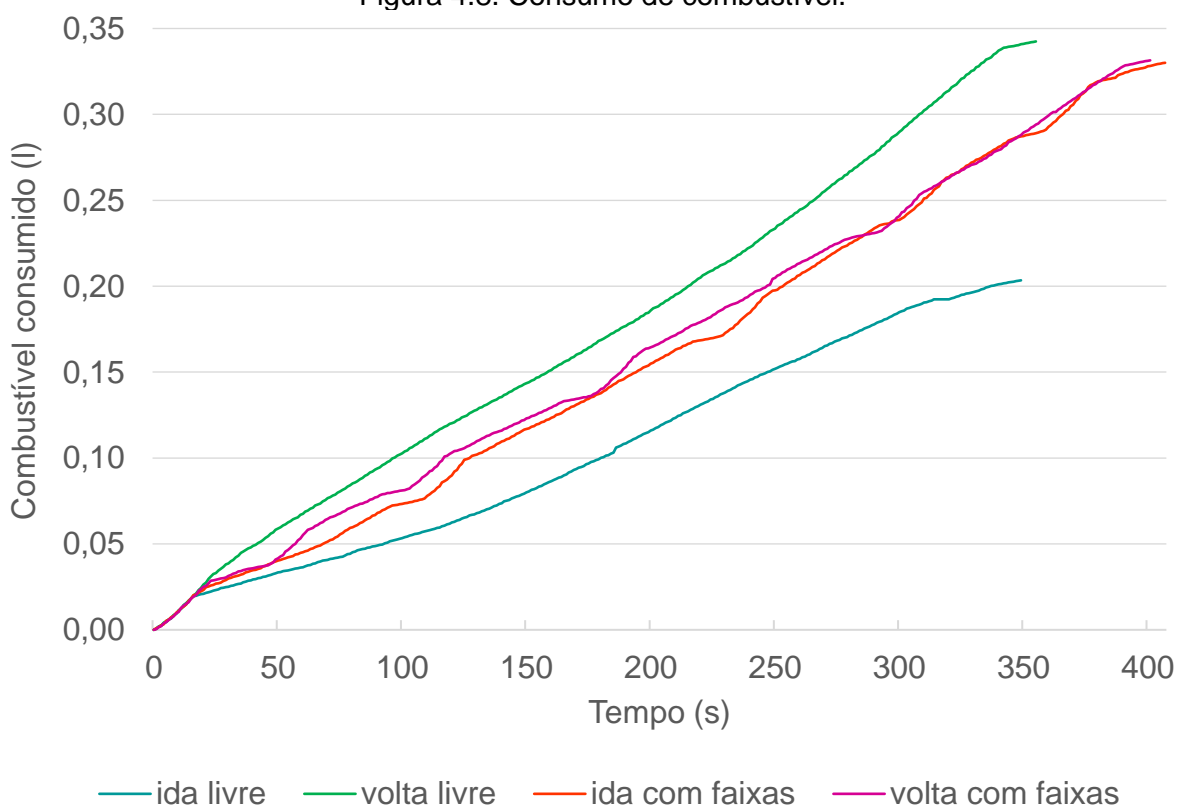
Figura 4.7. Vazão de combustível.



Da Figura 4.7 podemos observar que no trajeto com faixas elevadas a vazão de combustível apresenta picos de mais de 6 l/h, enquanto no trecho livre essa ordem de grandeza só é vista na arrancada, sendo necessário uma menor vazão de combustível para manter a velocidade constante, pois não há variação de energia cinética nessa condição. Novamente, podemos observar maior vazão de combustível no trecho de volta livre em relação ao de ida livre, devido à diferença de altitude já citada, exigindo mais potência do motor.

Na Figura 4.8 podemos verificar o consumo de combustível durante os ensaios.

Figura 4.8. Consumo de combustível.



Valores de avanço de ignição se referem ao PMS. Fonte: Próprio autor.

Da Figura 4.8 podemos observar que, na aceleração inicial, o consumo de combustível é comparável para todas os ensaios, porém se divergem em seguida. No trajeto com faixas elevadas, podemos observar as variações da taxa de consumo através da inclinação da curva, resultado das diferentes demandas de potência do motor, enquanto no trecho livre há menos variação, mudando apenas a ordem de grandeza devido a diferença de relevo.

A Tabela 4.2 mostra o consumo e o consumo médio obtido em todas as passagens.

Tabela 4.2. Consumo e consumo médio de combustível		
Passagem	Consumo (l)	Consumo médio (km/l)
Ida livre	0,2034	26,54
Volta livre	0,3425	15,77
Média livre	0,2730	19,78
Ida com faixas	0,3300	16,36
Volta com faixas	0,3315	16,29
Média com faixas	0,3307	16,33

O consumo médio foi calculado através da divisão da distância do trajeto (5400 m) pelo volume de combustível consumido. Fonte: Próprio autor.

Como pode ser observado na Tabela 4.2, o consumo de combustível observado no trajeto com faixas elevadas de pedestres foi na média, 21,2% maior do que no trajeto livre, resultando em um consumo médio de 16,33 km/l contra 19,78 km/l, respectivamente. Esse aumento de consumo equivale a um aumento de custo de R\$ 0,246 para percorrer o trajeto – R\$ 1,160 para R\$ 1,406.

Para verificar o consumo referente à apenas a passagem sobre as faixas elevadas de pedestres, foi considerado o consumo de combustível nos períodos contendo a frenagem, transposição das faixas e aceleração do automóvel, em ambos os sentidos, mostrados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Consumo e tempo associado exclusivamente à passagem sobre cada faixa elevada de pedestres.

Sentido	Faixa	Consumo (l)	Tempo (s)
Ida	1	0,0270	30
	2	0,0297	32
	3	0,0365	37
	4	0,0375	43
Volta	4	0,0310	35
	3	0,0261	30
	2	0,0300	31
	1	0,0279	29
Média	-	0,0307	33,4

Fonte: Próprio autor.

Da Tabela 4.3, verificamos que o consumo atribuído à passagem na faixa elevada de pedestres é de, em média, 0,0307 l, e o tempo médio, 33,4 s. Se utilizando dos dados de consumo obtidos e considerando uma amostra de 5000 m (300 s a 60 km/h) do trajeto livre de faixas elevadas, onde a velocidade é constante, temos os dados mostrados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Consumo do automóvel a 60 km/h, no trajeto livre.

Sentido	Consumo (l)	Consumo médio (km/l)
Ida	0,1736	28,80
Volta	0,2874	17,40
Média	0,2305	21,69

O consumo médio foi calculado através da divisão da distância da amostra (5000 m) pela quantidade de combustível consumido. Fonte: Próprio autor.

Sabendo que o tempo médio do processo para transpor uma faixa elevada de pedestres é de 33,4 s, em média, e que este tempo é 13 s maior do que com o trajeto livre, temos que o tempo para percorrer a mesma distância em trajeto livre é de 20,4 s, suficiente para percorrer 340 m a 60 km/h. Portanto, nessa distância, consome-se, proporcionalmente, 0,0157 l em trajeto livre de faixas. A Tabela 4.5 resume as informações

Tabela 4.5: Comparação do tempo, consumo de combustível e custo entre transpor uma faixa elevada para pedestres e percorrer trajeto livre de mesma distância.

Trajeto	Tempo (s)	Consumo (l)	Custo (R\$)
Livre	20,4	0,0157	0,067
Faixa	33,4	0,0307	0,131
Diferença	13,0	0,0151	0,064
Relativa	63,7%		96,2%

Fonte: Próprio autor.

Da Tabela 4.5 verificamos que cada faixa elevada de pedestres acrescenta 13 s (63,7%) e custa R\$ 0,064 (96,2%) a mais do que a mesma distância percorrida em trajeto livre. Trafegando do centro de Dourados para a Unidade II da UFGD, passando pela Av. Guaicurus e MS-162 (trajeto mais curto), por conter 9 faixas elevadas para pedestres, o trajeto leva 117 s a mais para ser percorrido, além de ter um custo extra de R\$ 0,58 , seguindo a metodologia apresentada e desconsiderando tráfego.

5. Conclusão

O propósito do estudo foi de mostrar o impacto das faixas elevadas para travessia de pedestres, tanto no consumo do automóvel quanto no tempo adicional, além de determinar a metodologia para que os resultados sejam consistentes e permitam repetibilidade.

Foi observado que, comparado com o trajeto livre de obstáculos, o trajeto que contém 4 faixas elevadas levou 52 s (14,7%) a mais para ser percorrido e causou um consumo de combustível 21,2% maior – médias de 19,78 km/l e 16,33 km/l, respectivamente –, resultando em um custo adicional de R\$ 0,246. O maior consumo é consequência da perda de 97,2% da energia cinética nas frenagens necessárias para transpor as faixas, energia que deve ser gerada pelo motor do automóvel para acelerar, além do maior tempo em operação.

Foi calculado que, com a metodologia apresentada, cada faixa elevada aumenta o tempo para percorrer o trecho de 340 m – que engloba a frenagem, transposição da faixa elevada e aceleração – em 13 s (63,7%) e causa um aumento de consumo de 96,2%, se comparado a um trecho de mesma distância, sem obstáculos.

Apesar da metodologia apresentada, o autor observa que a maioria dos motoristas tendem a se utilizar de maior velocidade do motor – frequentemente acima de 3000 rpm – e menor pressão no acelerador, resultando em menor carga, situação em que o motor é menos eficiente e o consumo, conseqüentemente, é maior. A utilização de diferentes

A utilização de passarelas elevadas, que visa reduzir a velocidade dos veículos para a travessia de pedestres com segurança, assim como outros recursos de redução de velocidade, causam significativo impacto no consumo dos automóveis de passeio, utilitários e veículos pesados, além de reduzir significativamente a fluidez do tráfego. Por esses motivos, devem ser apenas aplicadas em locais onde estudos mostrem sua absoluta necessidade, seguindo os padrões técnicos e recomendações do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).

5.1. Sugestão para trabalhos futuros

O estudo do impacto de faixas elevadas para travessia de pedestres e outros dispositivos de redução de velocidade podem ser realizados variando-se diversos parâmetros, como o tipo do dispositivo, massa do automóvel em ordem de marcha, motorização, modo de condução (carga, rotação, método de frenagem), utilização de ar condicionado, janelas abertas, tipo do dispositivo, entre outros.

Com os dados obtidos em experimentos deste assunto, é possível levantar dados estatísticos e criar um modelo matemático, em MatLab, Excel ou em outra linguagem de programação, para calcular o consumo de um automóvel em um determinado trajeto. Com um modelo confiável, é possível desenvolver um aplicativo para que o usuário calcule o combustível a ser gasto em seu trajeto, além de fornecer informações, em tempo real, sobre os gastos de combustível. Também é possível programar o software para que o gasto seja dividido em categoria, como por exemplo, marcha lenta, alta velocidade, dispositivo de redução de velocidade, marcha incorreta, entre outros.

6. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6601**: Veículos rodoviários automotores leves - Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono no gás de escapamento. Rio de Janeiro: Abnt, 2001. 29 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7024**: Veículos rodoviários automotores leves - Medição do consumo de combustível. Rio de Janeiro: Abnt, 2002. 9 p.

LITTLE, Arthur D. **Market and Technology Study Automotive Power Electronics**. 2015. Disponível em: <http://www.adlittle.se/sites/default/files/viewpoints/ADL_Study_Power_Electronics_2015.pdf>. Acesso em 03 set. 2017

BORGNAKKE, Claus.; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica**. São Paulo: E.Blucher, 2009.

BOSCH. **Ignição – Sistemas convencionais. 2012**. Disponível em: <<http://vdm.com.br/v1/wp-content/uploads/2013/11/BOSCH-IGNICAO.pdf>>. Acesso em 12 jan. 2018.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna. Volume 1**. São Paulo: Blucher, 2012.

CALIXTO, Bruno. **Emissão de CO2 de carros e motos cresce 192% no Brasil, diz pesquisa**. 2016. Disponível em: <<https://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-planeta/noticia/2016/09/emissao-de-co2-de-carros-e-motos-cresce-192-no-brasil-diz-pesquisa.html>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

CALMON, Fernando. **Será que agora vai? Governo deve enfim anunciar Rota 2030 em 12 de abril**. 2018. <Disponível em <https://carros.uol.com.br/noticias/redacao/2018/03/28/sera-que-agora-vai-governo-deve-enfim-anunciar-rota-2030-em-12-de-abril.htm>>. Acesso em 29 mar. 2018.

CLIMATEMPO. Tempo no momento em Dourados – MS. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/213/dourados-ms>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

DINAMICAR PNEUS. **O que é sonda lambda e qual a sua função na injeção eletrônica**. Disponível em: <<http://dinamicarpneus.com.br/sonda-lambda-funcao-injecao-eletronica/>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

GOOGLE. **Maps**. 2018. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/@-22.2163628,-54.8909837,11011m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 02 mar. 2018.

HEISLER, Heinz. **Advanced Engine Technology**. 1. ed. Londres: Butterworth-Heinemann, 1995. 808 p.

LENNER, Magnus. **Influence Of Roof-Rack, Trailer Etc On Automobile Fuel Consumption and Exhaust Emissions, Measured On-The-Road**. Detroit: Sae World Congress & Exhibition, 1998.

LOPES, Guilherme. **Sonda Lambda ou Sensor de Oxigênio**. 2010. Disponível em: <<http://www.dicasmecanicas.com/2010/05/sonda-lambda-sensor-oxigenio/>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

MAHLE – Driven by Performance. **Manual Técnico – Curso Mahle Metal Leve Motores e Combustão Interna**. 2014.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.. **Princípios de Termodinâmica Para Engenharia**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013. 840 p.

MR AUTOMOTIVO. **Como funciona o motor a combustão – parte 3**. 2015. Disponível em: <<http://www.mrautomotivo.com.br/blog/index.php/author/admin/>>. Acesso em: 24 ago. 2017.

NRCAN – Natural Resources Canada. **Fuel-efficient Driving Techniques**. 2016. Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/transportation/cars-light-trucks/fuel-efficient-driving-techniques/7507>>. Acesso em 03 set. 2017

PIDOL, Ludivine. **Sustainable mobility: technical and environmental challenges for the automotive sector**. IFP School. 2014. Semana 4 – Sessão 5.

RANGEL, Maria do Carmo; CARVALHO, Marly Fernandes Araújo. **Impacto dos Catalisadores Automotivos no Controle da Qualidade do Ar**. 2003. Disponível em: <<http://qnint.s bq.org.br/novo/index.php?hash=tema.50>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

RENAULT. **Logan – Manual do Proprietário**. 2010. 134 p.

RETÍFICA VILA MARIA. **Retífica motor diesel em SP**. Disponível em: <<http://www.retificavilamaria.com.br/servicos-de-retifica/retifica-motor-diesel-em-sp/>>. Acesso em 05 nov. 2017.

SAMSUNG. **Galaxy S7 – Especificações**. 2017. Disponível em: <<http://www.samsung.com/br/smartphones/galaxy-s7-g930f/SM-G930FZDPZTO/>>. Acesso em 05 nov. 2017.

STONE, Richard. **Introduction to internal combustion engines**. 2nd ed. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1999. 574 p.

TORQUE. **Torque – Engine Performance and Diagnostic Tool for Automotive Professionals and Enthusiasts**. 2017. Disponível em: <<https://torque-bhp.com/>>. Acesso em 05 nov. 2017.

VGATE. **ELM 321 Mini BT**. 2017. Disponível em: <<http://www.vgate.com.cn/en/ELM%20327%20Mini%20BT-154.html>>. Acesso em 05 nov. 2017.

X-ENGINEER. **Air-fuel ratio, lambda and engine performance**. 2017. Disponível em: <<https://x-engineer.org/automotive-engineering/internal-combustion-engines/performance/air-fuel-ratio-lambda-engine-performance/>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

YANAGIHARA, Jurandir I. **Termodinâmica: Ciclos Padrão a Ar**. Disponível em: <http://www.lete.poli.usp.br/PME2321_files/cicloPadrao.PDF>. Acesso em: 26 ago. 2017.

ZACHAROF, Nikiforos G; FONTARAS, Georgios. **Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO2 emissions of passenger cars**. Ispra: Jrc Science Hub, 2016.

ANEXO A – Ficha técnica do Renault Logan Authentique 1,0 L

Configuração de carroceria	Sedan
Ocupantes	5
Porte	Compacto
Motor	
Instalação	Dianteiro
Disposição	Transversal
Cilindros	4 em linha
Válvulas por cilindro	4
Taxa de compressão	10:01
Cilindrada	998 cm ³
Combustível	Flex
Aspiração	Natural
Alimentação	Injeção multiponto
Comando de válvulas	Simplex no cabeçote
Diâmetro dos cilindros	69,0 mm
Curso dos pistões	66,8 mm
Potência	77 cv (A) / 76 cv (G) a 5850 rpm
Torque	10,1 kgfm (A) / 9,9 kgfm (G) a 4350 rpm
Código do motor	D4D
Suspensão	
Dianteira	Independente, McPherson
Traseira	Eixo de torção
Freios	
Dianteiros	Disco sólido
Traseiros	Tambor
Direção	Assistência hidráulica
Pneus	185/70 R14
Diâmetro de giro	10,5 m
Dimensões	
Comprimento	4247 mm
Largura	1740 mm
Altura	1534 mm
Entre-eixos	2630 mm
Porta-malas	510 litros
Tanque de combustível	50 litros
Peso	1025 kg
Carga útil	445 kg
Aerodinâmica	
Área frontal	2,27 m ²
Coeficiente aerodinâmico (Cx)	0,36
Área frontal corrigida	0,8172 m ²
Desempenho	
Velocidade máxima	161 km/h
Aceleração 0-100 km/h	14,2 s
Consumo	
Urbano	8,0 (A) / 12,1 (G) km/l
Rodoviário	8,8 (A) / 13,0 (G) km/l

Fonte: (RENAULT, 2010)

ANEXO B – Características técnicas do scanner OBD Vgate ELM 327 Mini BT.

Nome do produto	OBDS CAN
Peso líquido	0,01 kg
Protocolos de comunicação	SAE J1850 PWM(41.6Kbaud), SAE J1850 VPW(10.4Kbaud), ISO9141-2(5 baud init,10.4Kbaud)
Compatibilidade	Todos os veículos compatíveis com OBD-II
Conexão	Wireless (Bluetooth)
Software	Incluso para Windows PC, Windows Phone,
Compatibilidade	ISO 9141, KWP2000, SAE J1850, CAN bus
Funções	Leitura de códigos de diagnóstico de falha, genéricos e específicos de fabricantes, mostrando seu significado (mais de 3000 códigos genéricos no banco de dados). Limpa códigos de falha e desliga a MIL (luz de "cheque o motor"). Mostra informações de sensores em tempo real, incluindo: velocidade do motor, valor de carga calculado, temperatura do líquido de arrefecimento, status do sistema de injeção eletrônica, velocidade do veículo, consumo instantâneo e médio de combustível, pressão no coletor de admissão, avanço de ignição, temperatura do ar admitido, vazão de ar, posição absoluta do acelerador, sensor de oxigênio, pressão de combustível, entre outros.

Fonte: (VGATE, 2017). Adaptado.

ANEXO C – Ficha técnica do smartphone Samsung Galaxy S7 SM-G930F.

Processador	Velocidade	2,3 GHz, 1,6 GHz
	Tipo	Octa Core
Tela	Tamanho	5,1" (129,2 mm)
	Resolução	2560 x 1440 (Quad HD)
	Tecnologia	Super AMOLED
	Profundidade de cor	16 M
	Caneta S Pen	Não
Câmera traseira	Gravação de vídeos	UHD 4K (3840 x 2160) @30 fps
	Fotos	Dual Pixel 12,0 MP
	F Number	f/1,7
	Flash	Sim
	Foco automático	Sim
Câmera frontal	resolução	CMOS 5,0 MP
	F number	f/1,7
Memória	RAM	4 GB
	Interna	32 GiB
	Disponível	24,5 GiB
	Cartão de memória	Micro SD (Até 256 GB)
Rede / Bandas	Multi chip (SIM Card)	Single-SIM
	Tipo de Chip (SIM Card)	Nano-SIM (4FF)
	Conexões	2G GSM, 3G WCDMA, 3G TD-SCDMA, 4G LTE FDD, 4G LTE TDD
Conectividade	ANT+	Sim
	Versão de USB	USB 2.0
	Localização	GPS, Glonass, Beidou
	Fone de Ouvido	Conexão 3.5mm Estéreo (Padrão P2)
	Versão de MHL	Não
	Wi-Fi	802.11 a/b/g/n/ac 2.4G+5GHz, VHT80 MU-MIMO
	Wi-Fi Direct	Sim
	Versão de Bluetooth	Bluetooth v4.2
	NFC	Sim
	Perfis de Bluetooth	A2DP, AVRCP, DI, HFP, HID, HOGP, HSP, MAP, OPP, PAN, PBAP, SAP
	PC Sync	Smart Switch (Versão para PC)
Sistema Operacional	Versão	Android 7.0 (build NRD90M.G930FXXS1DQF6)
Informações gerais	Formato	Barra touch
	Sensores	Acelerômetro, Barômetro, Sensor de Impressão Digital, Giroscópio, Geo Magnético, Sensor de Efeito Hall, Sensor HR, Sensor de Proximidade, Sensor de Luz RGB
Especificações físicas	Dimensões	142,4 x 69,6 x 7,9 mm
	Peso	152 g
Bateria	Tecnologia	Li-ion (íons de lítio)
	Capacidade padrão	3000 mAh
	Removível	Não

Fonte: (SAMSUNG, 2017). Adaptado.