



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**“IMPACTO DO ESTILO DE CONDUÇÃO NO CONSUMO  
DE COMBUSTÍVEL E NAS EMISSÕES VEICULARES”**

**BERNARDO JUNQUEIRA MURTA**

**Belo Horizonte, 24 de Agosto de 2018**

Bernardo Junqueira Murta

**“IMPACTO DO ESTILO DE CONDUÇÃO NO CONSUMO  
DE COMBUSTÍVEL E NAS EMISSÕES VEICULARES”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre/Doutor em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Projeto e Sistemas

Orientador(a): Prof. Dr. Antônio Augusto Torres Maia

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2018

M984i

Murta, Bernardo Junqueira.

Impacto do estilo de condução no consumo de combustível e nas emissões veiculares [manuscrito] / Bernardo Junqueira Murta. – 2018. 115 f., enc.: il.

Orientador: Antônio Augusto Torres Maia.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f. 98-115.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Indústria automobilística - Teses. 3. Automóveis - Consumo de combustíveis - Teses. 4. Dióxido de carbono - Teses. I. Maia, Antônio Augusto Torres. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621(043)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Universitário  
31270-901 - Belo Horizonte - MG  
Tel.: +55 31 3409.5145  
E-mail: [cpgmcc@demec.ufmg.br](mailto:cpgmcc@demec.ufmg.br)

**"IMPACTO DO ESTILO DE CONDUÇÃO NO CONSUMO DE  
COMBUSTÍVEL E NAS EMISSÕES VEICULARES"**

**BERNARDO JUNQUEIRA MURTA**

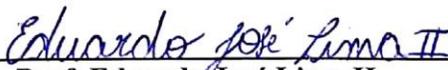
Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "**Mestre em Engenharia Mecânica**", na área de concentração de "**PROJETO E SISTEMAS**".

Dissertação aprovada no dia 24 de agosto de 2018.

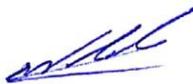
Por:



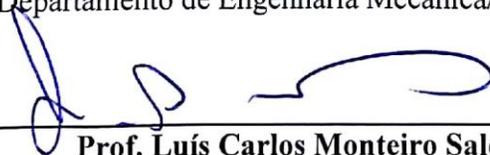
**Prof. Antônio Augusto Torres Maia**  
Orientador - Departamento de Engenharia Mecânica/ UFMG



**Prof. Eduardo José Lima II**  
Departamento de Engenharia Mecânica/ UFMG



**Prof. Juan Carlos Horta Gutiérrez**  
Departamento de Engenharia Mecânica/ UFMG



**Prof. Luís Carlos Monteiro Sales**  
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

“Feliz aquele que transfere o que sabe  
e aprende o que ensina” – Cora Coralina

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, por sempre depositar em mim a confiança e o apoio necessário nos momentos de dificuldade. Aos colegas que passaram pelo Laboratório de Automação e Controle do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG, pelos momentos de descontração, desenvolvimento de projetos paralelos e trocas de conhecimento e experiências. Ao amigo Edson Ribeiro de Castro, pelas discussões, ajudas e, inclusive, paciência com as dificuldades da minha trajetória acadêmica/profissional. Ao meu Orientador Antônio Augusto Torres Maia pelos conselhos, opiniões e conhecimento compartilhado e, inclusive, por acreditar em mim para o desafio proporcionado por este trabalho. Ao meu supervisor na Fiat Chrysler Automóveis - FCA, responsável direto pelo meu crescimento profissional e pela confiança depositada para o desenvolvimento do projeto.

Também agradeço ao PROGRAMA INOVAR FCA - UNIVERSIDADES – RESIDÊNCIA TECNOLÓGICA PARA ENGENHEIROS, à Fiat Chrysler Automóveis – FCA, e à Fundação Christiano Ottoni – FCO, pelo apoio financeiro e por incentivar o desenvolvimento tecnológico automotivo no Brasil.

A todos que possam ter, de certa forma, contribuído para a realização desse projeto.

A Deus.

À todos, os meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	13
ABSTRACT .....	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivos Gerais .....	16
1.1.2 Objetivos Específicos .....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Panorama atual de tecnologias para aumento de eficiência energética.....	17
2.2 Obtenção de dados veiculares.....	20
2.2.1 Rede CAN (Controller Area Network).....	20
2.2.2 Diagnóstico On-Board.....	24
2.3 Influência da maneira de dirigir no consumo e emissões.....	27
2.3.1 Ciclos padrão de direção.....	28
2.3.2 Eco-driving .....	32
2.4 Trabalhos relacionados.....	36
3. METODOLOGIA.....	40
3.1 Teste preliminar NBR6601.....	40
3.2 Algoritmo de troca de marcha via monitoramento de dados da OBD-II.....	41
3.3 Sistema de aquisição de dados para leitura via OBD-II.....	45
3.3.1 Conector ELM 327 .....	45
3.3.2 Construção do protótipo para leitura de dados veiculares.....	47
3.4 Validação do Software.....	52
3.4.1 Teste FTP-75 .....	52

3.4.2 Estimativa de consumo de combustível e emissões .....	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	59
4.1 Dados de calibração - ciclo FTP-75 .....	59
4.2 Simulação do algoritmo de troca de marchas via OBD-II.....	66
4.3 Impactos do uso do GSI em consumo e emissões .....	69
4.3.1 GSI disponível no veículo .....	69
4.3.2 Algoritmo de GSI para o sistema proposto .....	74
4.4 Validação do sistema de aquisição de dados .....	76
4.4.1 Leitura dos dados.....	76
4.4.2 Estimativa de consumo de combustível.....	81
4.4.3 Indicadores para a redução de consumo de combustível.....	83
5. CONCLUSÕES .....	88
5.1 Sugestões de trabalhos futuros .....	89
5.2 Considerações Finais .....	90
REFERÊNCIAS .....	91
ANEXO 1 – LISTA DE PIDs .....	98
ANEXO 2 – CÓDIGO ARDUINO .....	104

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Representação dos módulos na rede .....	21
FIGURA 2.2: Níveis lógicos dominantes e recessivos .....	22
FIGURA 2.3: Protocolo ISO/OSI de 7 camadas .....	23
FIGURA 2.4: Unidades computacionais em um veículo .....	23
FIGURA 2.5: Sistema OBD e a coleta de sinais provenientes da ECU do motor .....	24
FIGURA 2.6: Conector ELM327 comercial .....	25
FIGURA 2.7: Fatores que afetam as taxas de emissões de gases nocivos por veículos	33
FIGURA 3.1: Esquema do modelo para trocas de marchas com uso da porta OBD-II .	42
FIGURA 3.2: Algoritmo de troca de marchas para o sistema proposto. Parte 1.....	43
FIGURA 3.3: Algoritmo de troca de marchas para o sistema proposto Parte 2.....	44
FIGURA 3.4: Protótipo do sistema de aquisição de dados OBD-II em tempo real .....	48
FIGURA 3.5: Sequência para a definição do software desenvolvido .....	50
FIGURA 3.6: Diagrama esquemático da etapa de leitura e validação dos dados .....	52
FIGURA 3.7: Teste FTP-75 Campus CETEC Fiat Argo 1.0 3 Cilindros. ....	53
FIGURA 3.8: Perfil de velocidade, e faixa de tolerância, a ser seguido pelo condutor durante o teste .....	53
FIGURA 3.9: Procedimentos para os Testes: (a) Painel do Carro com GSI disponível; (b) Painel do Carro com GSI tapado. ....	54
FIGURA 4.1: Relação entre emissões CO e NOx para concentrações das misturas, para uma dada rotação .....	73
FIGURA 4.2: Identificação de marchas via dados OBD-II com base na relação de transmissão em tempo real. ....	77
FIGURA 4.3: Problemas de leitura de caracteres não válidos .....	80
FIGURA 4.4: Exemplos de erros por falha em sincronização entre requisição e leitura	80

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 2.1: Ciclo FTP-75 (urbano) e HWFET (estrada) .....	30
GRÁFICO 2.2: Ciclo NEDC .....	30
GRÁFICO 3.1: Ajuste de superfície para representar o consumo de combustível em função da rotação do motor e percentual de abertura da válvula borboleta .....	56
GRÁFICO 4.1: Relação de transmissão (velocidade/rotação) em relação ao consumo de combustível.....	60
GRÁFICO 4.2: Relação entre as marchas ativas e consumo do veículo em comparação a rotação do motor.....	61
GRÁFICO 4.3: Relação entre rotação do motor, acionamento do pedal e consumo instantâneo.....	62
GRÁFICO 4.4: Relação entre carga e posição da borboleta para as marchas (a) primeira, (b) segunda, (c) terceira, (d) quarta e (e) quinta .....	62
GRÁFICO 4.5: Relação entre carga e posição da borboleta para a quinta marcha, e consumo instantâneo .....	64
GRÁFICO 4.6: Relação entre torque e velocidade do veículo, para cada marcha ativa	65
GRÁFICO 4.7: Relação entre torque e rotação do motor, para cada marcha ativa.....	65
GRÁFICO 4.8: Comparação das marchas atuantes no teste de rua com as sugestões propostas pelo algoritmo .....	67
GRÁFICO 4.9: Dados de velocidade e marchas ativas para o teste de rua.....	68
GRÁFICO 4.10: Índice de repetibilidade dos testes para as duas estratégias.....	70
GRÁFICO 4.11: Consumo de combustível (km/l) em comparação com ciclos FTP-75, Estrada e Combinado, para os dois ensaios.....	70
GRÁFICO 4.12: Consumo de combustível (km/l) em comparação com ciclos FTP-75, Estrada e Combinado, para o caso de maior consumo. ....	71
GRÁFICO 4.13: Emissões dos Gases THC, CO, NOx, NMHC e CO2 em comparação com duas configurações, com e sem GSI, para os testes FTP-75 e HW.....	72
GRÁFICO 4.14: Dados comparativos de autonomia do GSI FCA com o GSI proposto	75
GRÁFICO 4.15: Definição de regiões para a identificação de marcha ativa.....	77
GRÁFICO 4.16: Aplicação de filtros para validação das variáveis .....	79

GRÁFICO 4.17: Desvios percentuais dos métodos de estimativa de combustível em comparação com o consumo real medido .....	83
GRÁFICO 4.18: Densidade de probabilidade das rotações do motor, juntamente com a distribuição normal dos ensaios de ciclo urbano com e sem a utilização do GSI.....	84
GRÁFICO 4.19: Densidade de probabilidade das acelerações, juntamente com a distribuição normal dos ensaios de ciclo urbano com e sem a utilização do GSI.....	85
GRÁFICO 4.20: Densidade de probabilidade das rotações do motor, juntamente com a distribuição normal dos ensaios de ciclo estrada com e sem a utilização do GSI.....	86
GRÁFICO 4.21: Densidade de probabilidade das acelerações, juntamente com a distribuição normal dos ensaios de ciclo estrada com e sem a utilização do GSI.....	86

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 Diferenças entre direções Defensiva e Agressiva na emissão veicular (g/km) e consumo de combustível.....	32
TABELA 3.1 PIDs disponíveis para uma mensagem “41 00 BE 1F A8 13” .....	46
TABELA 3.2 Dados disponibilizados na porta OBD-II do veículo, com base na norma SAE J1979, 2006.....	49
TABELA 4.1 Dados comparativos de autonomia das duas estratégias GSI: FCA e Proposto.....	74
TABELA 4.2 Erros aleatórios devido a falhas nas leituras de dados.....	78
TABELA 4.3 Desvios de autonomia calculados para dois métodos de estimativa de consumo de combustível em relação ao valor medido .....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BRS	Boost recuperation System
CAN	Controller Area Network
CARB	California Air Resources Board
ECU	Electronic Control Unit
FTP-75	Federal Procedure Test 75
GDI	Gasoline Direct Injection
GS	Gear Shift Indicator
HWFET	Highway Fuel Economy Test
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
NDC	Contribuição Nacional Determinada
NEDC	New European Driving Cycle
OBD-II	On-board Diagnostics II
PFI	Port Fuel Injected
PID	Parameters Identification
SAE	Society of Automotive Engineers
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

## RESUMO

A indústria automobilística é globalmente uma das grandes responsáveis por emissões de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, contribuindo por 47,5% das emissões do setor energético brasileiro. Desta forma, a redução de emissões veiculares é fundamental para que os países possam atingir sua Contribuição Nacional Determinada (NDC), estipulada pelo acordo de Paris em Dezembro de 2015. Com esse objetivo, neste trabalho foram estudadas as influências do instante das trocas de marchas no processo de emissões veiculares e aumento no consumo de combustível relacionado com a forma de condução do veículo. Nos testes experimentais foram consideradas três estratégias para mudança das marchas: estratégia FIAT de GSI (Gear Shift Indicator); GSI alternativo, desenvolvido através de leitura de dados via porta OBD-II (On-board Diagnostics); e mudanças de marchas aleatórias, sem sugestões ao longo dos testes. Os resultados obtidos foram então comparados com os testes realizados utilizando o GSI padrão do veículo. Os ensaios com troca de marchas aleatórias obtiveram piora média, em consumo de combustível, de 0,5% para o caso urbano e 0,06% para o teste estrada, onde se obteve maior consumo com diferenças em 3,0% para o caso urbano e 0,7% para o teste estrada. Em relação a emissões de CO<sub>2</sub>, obteve-se aumento em 1%, aproximadamente, para o teste urbano. Com o sistema de aquisição de dados desenvolvido, foi integrado ao código outro algoritmo de troca de marchas, alternativo, o qual obteve aumento em relação ao GSI já disponível no veículo de 0,75% e 0,33%, para os testes urbano e estrada, respectivamente, representando uma melhora comparando-se com o caso de maior consumo, sem nenhuma informação de trocas de marchas. O trabalho, portanto, demonstrou a importância de obedecer a sugestões de trocas de marcha para diminuição em consumo de combustível e emissões. Desta forma, a integração de sistemas de feedback ao motorista, como o proposto, se tornam soluções de baixo custo e de grande importância para se obter melhorias em eficiência energética e diminuição do efeito estufa.

**Palavras Chave:** Emissões Veiculares, Consumo de Combustível, GSI, OBD-II

## ABSTRACT

The automobile industries are, globally, one of the biggest responsible for CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions, contributing with 47,5% of Brazilians energy sector emissions. In fact, reducing vehicle emissions is primordial for countries to achieve their National Determined Contribution (NDC), set by the Paris Agreement, in December 2015. With this goal, in this work it was studied gear shift times influences on vehicle emissions and fuel consumption increase, related to driver's way of driving. Tests were held considering three gear shift strategies: following a gear shift indicator (GSI) set by FCA; an alternative GSI, proposed for the developed system with OBD-II data monitoring; and random gear shifts, without a specific gear shift strategy. All fuel consumption and emissions results were compared with data obtained when following the vehicle standard GSI available. For this case, the tests without the use of the gearshift indicator obtained a mean worsening in fuel consumption of 0.5% for the urban case and 0.06% for the highway test. The most consuming test obtained an increase of 3.0% for the urban case and 0.7% for the highway test. In relation to CO<sub>2</sub> emissions, an increase of approximately 1% was obtained when not following the GSI suggestion. With the developed OBD-II data acquisition system, an alternative GSI strategy was integrated into the code, which tests increased consumption in about 0.75% and 0.33% for the urban and highway tests respectively, representing an improvement by comparing with the most consuming case, with no gear shift information. This work, therefore, showed the importance of following gear shift strategies in order to reduce in fuel consumption and vehicular emissions. In this way, embedded systems to allow feedback suggestions to the user, as proposed, become a low cost and important solution to obtain improvements in energy efficiency and to reduce the greenhouse effect.

**Keywords:** Vehicle Emissions, Fuel Consumption, GSI, OBD-II

## 1. INTRODUÇÃO

Devido às preocupações com o clima e com o aumento da temperatura média terrestre devido a emissões de gases de efeito estufa, foi realizada, em Paris, a 21ª Conferência das Partes da UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (UNITED NATIONS, 2016). Conhecido como Acordo de Paris, o tratado visa regular medidas para diminuição de emissões de CO<sub>2</sub> a partir do ano de 2020. Em comparação com o ano de 2005, o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de gases do efeito estufa em 37% até 2025, e em 43% até 2030 (BRASIL, 2016).

Segundo dados do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2014), o setor de Energia, que utiliza processos de queima de combustível, era responsável por 37% das emissões de CO<sub>2</sub>, onde 47,5% é consequência da utilização de veículos automotores sendo, portanto, uma das principais fontes de emissões em áreas urbanas.

Uma das maneiras de se avaliar as emissões veiculares é através de ciclos padrões de direção. Assim, agências de proteção ambiental definiram séries de testes que simulam condições de direção (área urbana, rodovias, direção agressiva, etc.), agindo de forma normativa para a adição de um novo veículo no mercado. Os ciclos mais importantes são o FTP-75 (Federal Test Procedure), utilizado nos Estados Unidos, e o NEDC (New European Driving Cycle) no mercado Europeu.

Entretanto, vários estudos mostraram que esses ciclos normativos podem subestimar índices de consumo e emissões em condições reais e, com isso, deve-se investigar os fatores que influenciam nessa diferença. Segundo Tzirakis e Zannikos (2015) alterações na rodovia, expansão e mudanças de frota, diferenças no combustível, comportamento do motorista, legislação, entre outros, tem grande impacto nos perfis de velocidade de um veículo, sendo necessário adequar os ciclos padrões de direção para cada local específico.

Atuar no comportamento do motorista como parâmetro de desempenho em eficiência energética nos veículos automotivos é de elevada complexidade, não podendo ser previsto e controlado facilmente, dificultando a avaliação da influência do condutor no consumo do veículo e emissões de gases poluentes. Entretanto, estratégias denominadas de Eco-driving (forma de direção econômica e com menores índices de

emissões de particulados na atmosfera) funcionam como um guia para que os efeitos da maneira de dirigir sejam diminuídos e estão sendo aplicadas em diversos veículos disponíveis hoje, apesar de seu uso não ser mandatório. Desta forma, muito vem sendo estudado para se promover a integração dos motoristas com sistemas de Eco-drive, como um sistema efetivo de feedback, que encoraja a utilização por meio dos usuários.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral do trabalho é analisar as consequências dos instantes de trocas de marcha, dependentes da atuação do motorista, que possam conferir maior consumo de combustível e emissões de gases de efeito estufa na atmosfera.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

A fim de se convergir para o objetivo central do trabalho, serão analisados os efeitos de diferentes estratégias de trocas de marcha no consumo de combustível e emissões de gases. Para tal, serão avaliadas estratégias de trocas de marcha em testes de ciclo padrão, e comparadas com testes sem utilização das mesmas.

Também será desenvolvido um sistema de aquisição de dados em uma placa de desenvolvimento para aplicação de uma estratégia de troca de marchas alternativa que não necessite de acesso direto à rede de dados veicular. As leituras dos dados também serão utilizadas para estimativas de consumo de combustível em tempo real, para que o sistema possa identificar atitudes que influenciam no aumento de consumo e emissões.

Com a aquisição dos dados serão analisados possíveis indicadores de modo que o sistema possa sugerir sugestões ao condutor para diminuição de consumo de combustível e emissões.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Panorama atual de tecnologias para aumento de eficiência energética

Esta seção tem por objetivo citar algumas tecnologias que vêm sendo desenvolvidas e aprimoradas pelas fabricantes de peças e veículos automotores com a finalidade de se obter ganhos em eficiência energética. Além do ganho em consumo de combustível, que representaria em economia para os consumidores, o grande foco atual está na diminuição de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera.

Melhorias no consumo de combustível e emissões veiculares podem ser obtidas através de modificações no sistema de propulsão e gerador de energia (motorização, combustível, transmissão, etc.), estruturais (materiais, peso, aerodinâmica, etc.), e operacionais (sistema de partida, agressividade de direção, condições da via, etc.). Alterações estruturais e no conjunto de propulsão são exclusivamente dependentes das empresas diretamente envolvidas na fabricação de veículos, e suas contribuições podem ser facilmente quantificadas.

É conhecido que motores menores possuem vantagens com respeito ao consumo de combustível e emissões em comparação com motores maiores. Comparando-se um motor de 1.0 litro com um de 2.0 litros, para um mesmo veículo desenvolver uma velocidade constante de 70km/h, o motor menor apresenta redução em emissões de CO<sub>2</sub> de cerca de 25% (LEDUC et al., 2003). Fonte de uma extensa pesquisa sobre o *downsizing* dos motores, diversas fabricantes, hoje, já possuem veículos com motores 1.0 litro três cilindros. Com um cilindro a menos, esse tipo de motor consegue ser mais eficiente por possuir menor atrito, melhor aproveitamento de potência do propulsor, e por ser mais leve (tamanho e menor número de peças). Assim, um motor de três cilindros de injeção direta de gasolina (GDI – gasoline direct injection) pode oferecer reduções em emissões de CO<sub>2</sub> de 22%, em comparação com motores de quatro cilindros com injeção no pórtilco (PFI – port fuel injected) (KIRWAN et al., 2010).

Outro tópico estudado extensivamente para redução de consumo e emissões é o tipo de combustível utilizado. Muito por parte das constantes crises de petróleo e grande variações nos preços da gasolina, estão sendo estudadas formas alternativas para a sua substituição. No mercado brasileiro, devido ao programa PROALCOOL, iniciado

em 1975, e pela grande importância do Etanol na matriz energética brasileira, é bastante difícil encontrar veículos que utilizam apenas Gasolina, sendo substituídos por veículos capazes de operar com qualquer proporção Etanol-Gasolina (FLEX) (RICO, 2007).

Alternativas de motorização e combustíveis impulsionaram a hibridização, com a adição de um motor elétrico, em paralelo, em série ou de forma combinada, como auxílio para a produção de torque. A hibridização se torna economicamente viável uma vez que se utiliza uma bateria menor, em comparação com veículos totalmente elétricos, e por possuir similaridades com os veículos atuais. Apesar de sugerir ganhos em consumo e emissões, sua avaliação não é simples, sendo necessária uma avaliação e otimização do fator de hibridização (relação percentual entre o torque fornecido pelos motores elétrico e de combustão interna) (KATRASNIK, 2007). No mercado brasileiro, dois veículos híbridos disponíveis atualmente são o Ford Fusion 2.0 e o Toyota Prius 1.8, cujos consumos de combustível são, respectivamente, 19,2km/l e 23,8km/l, em meio urbano, e 16,8km/l e 18,2km/l em estrada (QUATRO RODAS, 2018). Essas informações, entretanto, não são oficiais por serem veículos recém-lançados no mercado. Na tabela de homologação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, INMETRO, do ano de 2017, entretanto, informa um único veículo elétrico comercializado no Brasil: o Renault Twizy, com consumo correspondente a 45,8km/l, em meio urbano, e 43km/l em estrada (INMETRO, 2017).

O *downsizing* e a hibridização também causam alterações estruturais uma vez que retiram e adicionam componentes ao sistema alterando as relações dinâmicas. Um dos ganhos do *downsizing*, supramencionado, ocorre devido à diminuição das perdas de energia por atrito no motor. De forma semelhante, outras perdas por atrito podem ser reduzidas por modificações estruturais e utilização de outros materiais. No que diz respeito ao atrito de rolamento, a utilização de sílica como material na construção de pneus confere uma menor resistência ao rolamento, resultando em economias de combustível de até 7% (LOPES et al., 2017).

Entretanto, no que diz respeito às condições operacionais, suas contribuições para o consumo e emissões, positivas ou negativas, são bastante complexas e de difícil controle e previsão. Algumas tentativas, no entanto, convergem a fim de se otimizar o consumo de combustível obtendo-se um máximo rendimento possível. Um sistema bastante conhecido é a tecnologia Start-Stop, que desliga o motor quando o veículo se encontra parado. Assim que o condutor parar de acionar o pedal de embreagem (para veículos com câmbio manual) ou o pedal de freio (para veículos com

câmbio automático) o motor é novamente ligado. Desta forma, ganhos em consumo de combustível pode alcançar cerca de 11% (ABAS et al., 2017).

Atrrelado ao sistema Start-Stop, a fabricante BOSCH possui uma tecnologia denominada BRS (Boost Recuperation System) (BOSCH, 2013). Com esse sistema, uma bateria interna é carregada durante a frenagem, reduzindo as perdas de energia ocasionadas por essa ação. Assim, um motor elétrico pode atuar fornecendo torque adicional ao motor de combustão interna, diminuindo o consumo de combustível e emissões. O sistema também desliga o motor de combustão interna na função *coasting*, quando o veículo só se movimenta devido sua inércia, com os pedais de freio e aceleração não estão sendo acionados, e rapidamente é religado após um desses pedais atuarem.

O sistema BRS indica dois pontos interessantes de se analisar: a perda de energia durante as frenagens e retomadas, e a grande importância do *coasting* durante a direção. Ambos os aspectos implicam na influência do condutor no próprio consumo de combustível do veículo e, logo, em emissões. A fim de se reduzir os impactos em eficiência energética pelas ações do condutor, o treinamento e sistemas de feedback se tornam necessários.

O sistema denominado “Econômetro”, introduzido na família *Economy* da FIAT em 2009, foi uma das tentativas de informar o condutor a respeito da qualidade de sua direção. Esse sistema tinha um mostrador analógico no painel do veículo com código de cores Verde-Amarelo, para que o condutor procurasse a manter o mostrador na zona verde. Entretanto, esse resultado só era atingido em marchas superiores e condições com pouca variação de rotação e pouca ou nenhuma aceleração. Em condições urbanas, o sistema não era didático, por variar bastante e rapidamente, o que poderia gerar certa confusão ao usuário, embora possa ser considerado um sistema promissor no intuito de conscientizar os condutores com seu estilo de direção.

Atualmente, alguns carros possuem um sistema denominado *Ecobutton*. Indiretamente ao estilo de direção do usuário, esse sistema altera algumas condições de calibração do motor durante a operação, provocando um estilo de direção mais econômico, com ganhos de cerca de 2% em combustível, e diminuindo emissões. Ainda, alguns sistemas, ao ser acionado, indicam uma figura de uma folha verde no painel do veículo informando ao condutor o seu funcionamento. Apesar disso, mesmo com o sistema em funcionamento, o usuário pode provocar condições de operação ineficientes, com estilo de direção agressivo e trocas de marchas equivocadas,

inutilizando o sistema.

Em alguns veículos com transmissão manual, hoje, já está disponível um indicador de trocas de marchas no painel, com o objetivo de conscientizar o condutor, novamente, a realizar ações mais eficientes reduzindo as perdas de energia desnecessariamente. Entretanto, a utilização desse sistema é integralmente opcional, e o condutor pode não ter ciência das implicações e melhorias que o sistema pode lhe oferecer. Para isso, um sistema completo, com análise de dados veiculares em tempo real, se faz necessário, ou seja, um sistema que indique ao usuário formas para se obter melhorias em eficiência energética, além de informar as possíveis perdas que seu estilo de direção acarreta ao não seguir as sugestões do sistema.

## **2.2 Obtenção de dados veiculares**

Nesta seção será realizada uma revisão na literatura com respeito a obtenção dos dados veiculares, apresentando a Rede CAN (Controller Area Network) onde trafegam os dados do veículo, e a porta OBD-II (On-board Diagnostics) que permite acesso à Rede CAN externamente. A leitura das informações do veículo vem sendo densamente estudada para fins de melhoria de eficiência energética, conforto, segurança e outras aplicações.

### 2.2.1 Rede CAN (Controller Area Network)

Nos automóveis modernos existe uma rede de dados por onde trafegam todas as informações do veículo desde a velocidade até a posição do pedal do acelerador. Esta rede é chamada CAN e ela está conectada a todas as demais centrais de controle disponíveis no veículo.

A rede CAN é um protocolo de comunicação serial desenvolvida pela Bosch e anunciada na Conferência Internacional da SAE (Society of Automotive Engineers), em Detroit, Michigan, em 1986. Essa rede define um padrão de comunicação eficiente e confiável entre sensores, atuadores, controladores e outros nodos para aplicações em tempo real (LI; LIU; LUO, 2008). Apesar de ter sido criada, inicialmente, para a indústria automotiva, sendo encontrada na maioria dos carros de passeio, veículos de transporte de passageiros e de carga e outros tipos de veículos, a rede CAN tem sido amplamente utilizada na automação industrial e em outras áreas, com aplicações em

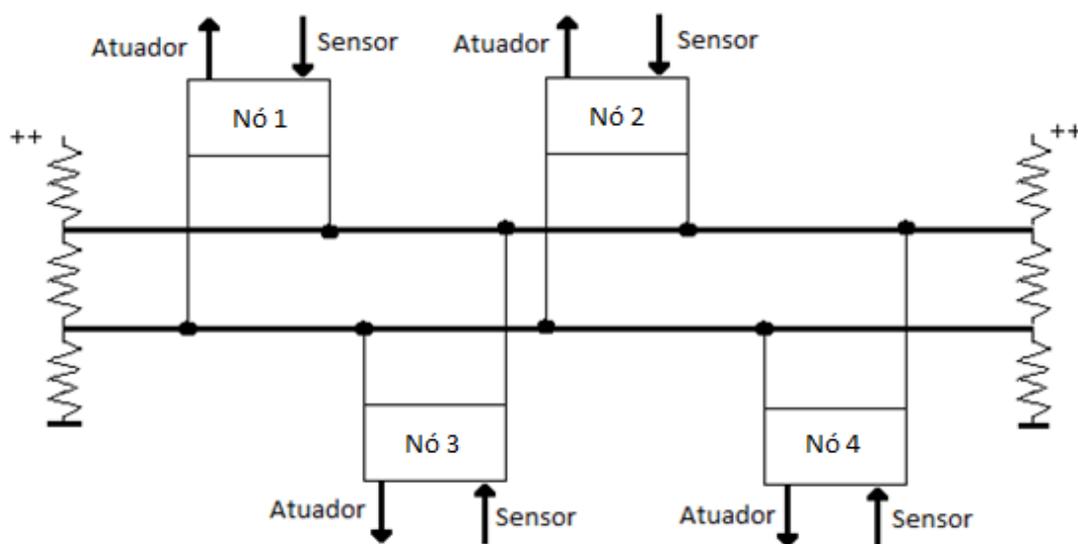
diversos produtos com em maquinários, equipamentos médicos, cadeiras de rodas, entre outros.

A larga aplicação dessa rede de transmissão e comunicação de dados está associada a suas características de sistema multimestre, prioridade de mensagens, flexibilidade de configuração, consistência de dados, detecção e sinalização de erros em nodos, recepção multinodo e re-sincronização.

O protocolo de comunicação da rede CAN segue o padrão ISO 11898 e é fundamentado no conceito CSMA/CD with NDA (Carrier sense multiple Access/Colision Detection with Non-Destructive Arbitration). Em sua operação, todos os módulos verificam o estado do sistema, analisando o envio de mensagens com maior prioridade. Assim, o módulo cuja mensagem for de menor prioridade interrompe sua transmissão, de tal forma que o de maior prioridade continue o envio de mensagens sem a necessidade de reinicialização (SOARES, 2012).

A transmissão de dados é feita através de cabos, com sinais de nível alto e baixo (Figura 2.1). Sensores de velocidades nas rodas de um veículo, por exemplo, enviam sinais de níveis altos e baixos, excitados por uma roda dentada fixada ao cubo da roda. Assim, os sinais desses sensores, de interferência magnética de efeito Hall, são enviados à central de controle (ECU – Electronic Control Unit) para o cálculo da velocidade angular das rodas, individualmente.

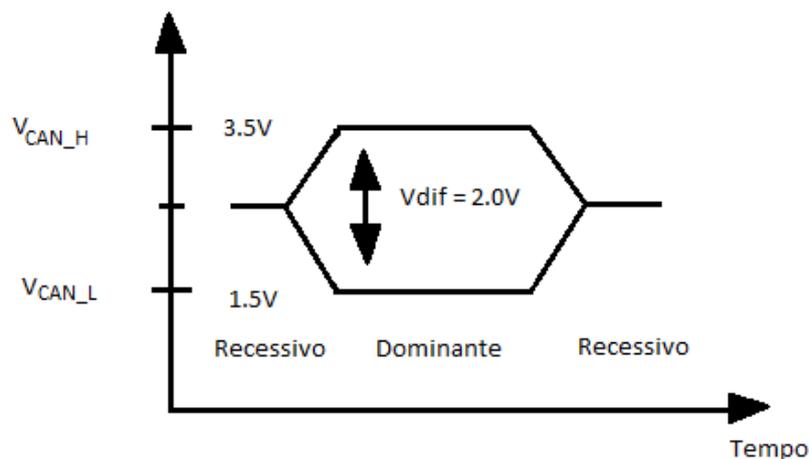
FIGURA 2.1: Representação dos módulos na rede



FONTE: Adaptada de SOARES, 2012

Os níveis lógicos na CAN são denominados níveis dominantes (TTL=0V) e recessivos (TTL=5V). Assim, sinais de nível dominante sempre terão prioridade em cima de recessivos, e esse conceito foi criado para a arbitração dos sinais da rede. A voltagem dos sinais de nível alto e baixo varia de 1.5V a 3.5V. Quando a diferença de potencial dos sinais de nível alto e baixo é de 2.0V o sinal é considerado dominante e, quando for de 0V, é considerado recessivo, como visto na Figura 2.2.

FIGURA 2.2: Níveis lógicos dominantes e recessivos

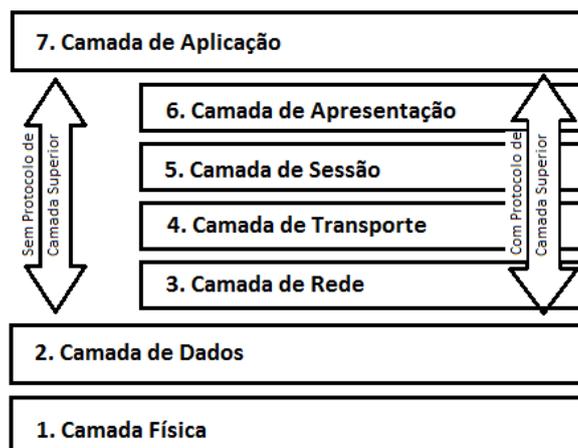


Fonte: SOARES, 2012

Os módulos na rede CAN transmitem as informações por mensagens denominadas Frames, uma vez que a rede esteja em modo ocioso. Existem quatro tipos de Frames: de Dados, para enviar dados; de Remoto, para requerer dados; de Erro, para reportar alguma situação; e de Overload, para requerer um tempo entre dados ou requisição de dados. Desta forma, mensagens enviadas por um módulo da rede são recebidas por todos os outros módulos para que o Hardware decida se a mensagem é relevante ou não. Na ocorrência de uma mensagem de erro, o protocolo realiza ações para solucioná-lo. Caso não seja, o módulo é desligado da rede para que a mensagem de erro não persista.

Os módulos da rede CAN são implementados seguindo o protocolo ISO/OSI de sete camadas, conforme a Figura 2.3. As camadas 1-Física e 2-Dados são integradas no módulo e, por meio de protocolos específicos de cada módulo (camadas intermediárias), cria uma espécie de ponte de comunicação com a camada de 7-Aplicação. A conexão entre as camadas 2 e 7 é providenciada pelo próprio fabricante de módulo.

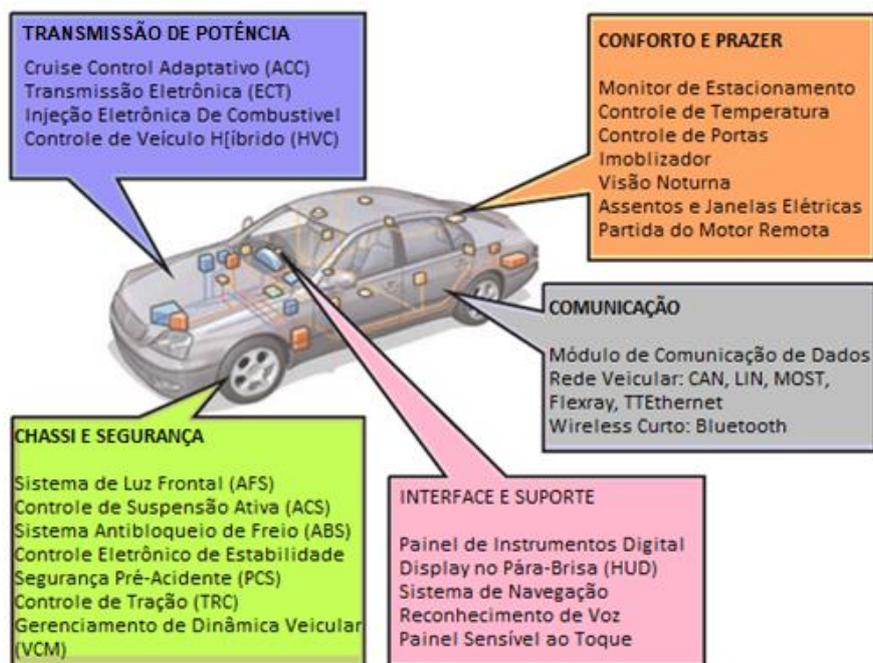
FIGURA 2.3: Protocolo ISO/OSI de 7 camadas



FONTE: Adaptada de Soares, 2012

A Figura 2.4 apresenta unidades de controle e respectivas funções de um veículo de passageiros, dispostos na rede. Como a maioria dos sistemas veiculares, hoje, são totalmente comandados através de impulsos eletrônicos, a CAN possibilita um fácil acionamento e leitura de cada elemento da rede, de cada unidade de controle. O acesso às informações da CAN pode ser feito facilmente nos veículos novos, através de uma porta serial de diagnóstico, a OBD (On-Board Diagnostic).

FIGURA 2.4: Unidades computacionais em um veículo



FONTE: Adaptada de AOYAMA, 2012

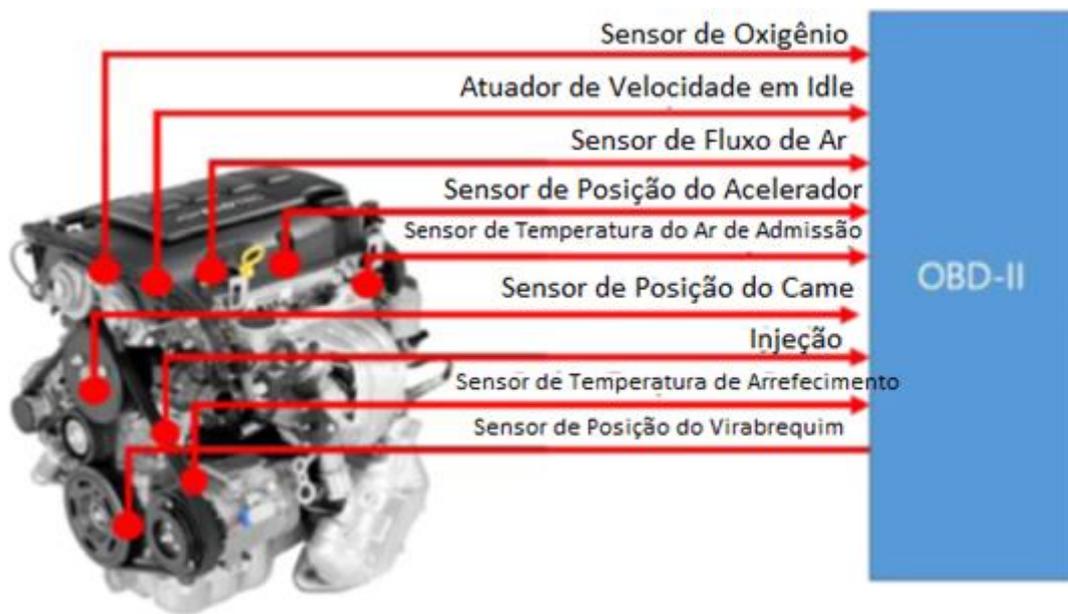
### 2.2.2 Diagnóstico On-Board

O padrão OBD (On-Board Diagnostic), foi desenvolvido nos Estados Unidos, no início da década de 90, para detectar problemas do motor que pudessem provocar aumento de emissões, ultrapassando um limite aceitável. O primeiro padrão OBD-I somente definia alguns parâmetros para monitoramento.

De forma a padronizar testes de emissões em veículos, a CARB (California Air Resources Board), em 1994, definiu o padrão OBD-II a ser utilizado em todos os veículos novos a partir de então, no estado. Esse novo padrão definia posição, conectores, e uma lista de parâmetros que deveriam ser monitorados (ZALDIVAR et al., 2011).

Hoje, todos os veículos que suportam o padrão OBD-II adotam um código padrão de diagnóstico e interface de comunicação (ISO J1979) e com a rede CAN (ISO 15765). Assim, os dados das várias unidades de controle do veículo podem ser coletados externamente através do conector OBD-II. A Figura 2.5 mostra um bloco motor e os sinais sendo coletados pelo sistema OBD (BAEK; JANG, 2015).

FIGURA 2.5: Sistema OBD e a coleta de sinais provenientes da ECU do motor



FONTE: Adaptada de BAEK; JANG, 2015

Aos parâmetros a serem monitorados são atribuídos um número de identificação, PID (Parameter Identification). Os PIDs são padronizados segundo a norma utilizada pela OBD, o que faz com que o conector seja apto a ler o dado

informado em forma de pacote, contendo tanto o nome e uma pequena descrição do valor.

Existem muitas razões pelas quais motoristas desejam monitorar os parâmetros de seu veículo, de questões de segurança a parâmetros de desempenho. Algumas empresas, ultimamente, estão fornecendo um tipo de conector OBD-II, o ELM327 (Figura 2.6) com conexão Bluetooth, juntamente com um aplicativo para celular que mostram alguns dados do veículo para o usuário, podendo este, assim, ter informações relevantes a respeito do funcionamento do veículo.

FIGURA 2.6: Conector ELM327 comercial



FONTE: [elmelectronics.com](http://elmelectronics.com)

Com a leitura dos dados veiculares, em tempo real, várias aplicações podem ser estudadas a fim de se obter melhorias em emissões e consumo, segurança, manutenção do veículo, entre outras.

No trabalho realizado por Zaldivar et al. (2011), foi proposta uma aplicação de smartphone especializada para providenciar suportes para serviços de emergência baseado nas informações disponíveis na rede CAN veicular. Em particular, esse sistema monitora a velocidade do veículo (via porta OBD-II) e a ativação do airbag para determinar a ocorrência de um acidente. Para as direções normais e agressiva, o maior valor de desaceleração obtido foi próximo de 1G, em comparação à desaceleração necessária para a ativação do airbag, de 5G. A aplicação proposta visa combinar um veículo e um smartphone de tal forma que, sua simbiose, torne a detecção de um acidente praticamente automática. Assim, baseado nas informações de GPS do veículo, seria feita uma conexão (SMS, e-mail, telefonema...) para uma central, que comandaria as ações de resgate e controle de tráfego. Em caso de acidentes, o tempo necessário para a detecção e envio da mensagem de emergência foi em torno de 3s, podendo levar até 6s, dependendo da velocidade da rede.

Além de detecções de acidentes, o trabalho realizado por AbuAli (2016)

propõe um sistema de detecção de problemas relativos à pista como tração, inclinação e deterioração. O sistema utiliza do monitoramento de algumas variáveis disponíveis na porta OBD-II do veículo, mas necessita de outros tipos de sensoriamento para obter informações que não estão disponíveis. Com isso todas as informações são enviadas a um dispositivo móvel para o devido processamento e destinados a uma central, podendo ser tomadas atitudes de acordo com o tipo de problema encontrado. Os problemas relativos às condições de pista analisados são:

- Pista escorregadia: Para a detecção deste tipo de problema são utilizadas informações a respeito da velocidade individual em cada roda, e velocidade do veículo. Essa detecção pode ocorrer em dois eventos: quando as rodas aceleram rapidamente e o pedal do acelerador continua numa mesma posição; quando rodas diferentes possuem velocidades angulares diferentes, indicando que somente uma roda passou por uma região escorregadia (derramamento de óleo, por exemplo);
- Atolamento: Quando o veículo se encontra em uma região de provável atolamento, uma drástica mudança de velocidade é detectada não associada à frenagem e a elevação de pista. O veículo passa a monitorar os dados de GPS e, se as velocidades do veículo e da roda não forem compatíveis, o sistema detecta aquela área como região de atolamento e informa uma central;
- Irregularidades da pista: O sistema monitora a suspensão frontal do veículo de forma contínua. Se detectada uma variação rápida na atuação da suspensão, o sistema marca aquela região como sendo um quebra-molas. Entretanto, se esta marcação não for correta quando mandada a um servidor, que a compara em um banco de dados, essa região é marcada como uma irregularidade “ilegal”, e que providências devem ser tomadas. Logo a central é responsável por acionar um técnico para verificar o local marcado;
- Deterioração da Via: O sistema analisa a suspensão do veículo continuamente. Quando ocorre uma variação correspondente a depressões na pista (comparação entre as pressões na suspensão nas rodas) essa região é marcada como um problema de deterioração. Se essa depressão ocorrer em somente uma roda, provavelmente é um buraco, e um técnico é deslocado para avaliação do local.

Ambos os trabalhos citados utilizam-se das informações veiculares, obtidas através da porta OBD-II, em conjunto com dispositivos móveis e a vasta aplicação que

estes dispositivos podem oferecer. Em verdade, os smartphones mais recentes, por sua grande capacidade de processamento e seus módulos embarcados, tornam-se uma grande ferramenta de sensoriamento e, ainda, sem a necessidade de armazenamento e processamento local dos dados coletados.

Nos trabalhos conduzidos por Johnson e Trivedi (2011), e por Chowdhury et al., (2015), foi utilizado somente um smartphone como sensor e processador, sem acessar diretamente os dados da Rede CAN.

O primeiro desenvolve uma plataforma chamada MIROAD capaz de detectar o estilo de direção do usuário, através de dados obtidos pelo acelerômetro, giroscópio e GPS do smartphone. O sistema funciona identificando e avaliando manobras agressivas (curvas a 90° e 180°, aceleração e desaceleração brusca, etc) e, assim, classificando a direção do motorista. O estudo foi capaz de detectar próximo a 97% das ações agressivas e, portanto, torna um smartphone uma ferramenta poderosa para obtenção de sinais do veículo.

Já o trabalho de Chowdhury et al. (2015) utiliza o acelerômetro presente no smartphone para monitorar a vibração vertical do veículo, filtrando frequências menores que 20Hz. Assim, observando a evolução das vibrações verticais do veículo conforme o uso verifica-se uma linha de tendência segundo a qual pode ser estimado um momento certo para a manutenção do veículo, o qual é sugerido ao usuário. Embora não indique corretamente o tempo exato para uma manutenção geral no veículo, nem uma possível falha grave em alguma peça específica, a predição da data de manutenção se mostrou confiável, proporcionando ao usuário diminuição de custos em reparos e trocas de componentes.

Com o objetivo de se obter melhorias em relação ao consumo de combustível e emissões, portanto, a integração dessas tecnologias, leitura da OBD e smartphones, se torna uma poderosa ferramenta. Um sistema bem desenvolvido pode auxiliar os usuários a desenvolver melhores hábitos de direção a partir das leituras dos dados veiculares e de uma eficiente troca de informação sistema-usuário, sugerindo uma nova possibilidade a ser explorada pelas montadoras como solução em conectividade veicular.

### **2.3 Influência da maneira de dirigir no consumo e emissões**

Nesta seção serão introduzidos os conceitos de ciclos de direção e o Eco-

Driving. Ao final, serão apresentados trabalhos recentes que se utilizam dos parâmetros veiculares obtidos pelo acesso à rede CAN para identificar o modo de direção do condutor, avaliando possíveis ações para melhoria de eficiência. Como sistema de feedback, onde informações relevantes são repassadas aos motoristas, alguns trabalhos também tratam do uso de smartphones como ferramenta que possibilita a interação veículo-usuário.

### 2.3.1 Ciclos padrão de direção

No intuito de se estimar emissões veiculares e, logo, avaliar seu impacto ambiental, pesquisadores desenvolveram ciclos de direção os quais podem ser utilizados para testes em laboratório em condições de reprodutibilidade. Com isso, para o lançamento de novos veículos, montadoras em vários países realizam testes de emissão onde todos os veículos devem ser sujeitos.

Ciclos de direção são séries de dados que representam a variação de velocidade de um veículo ao longo do tempo. O estudo dos ciclos de direção vem sendo realizado largamente para estudo de tráfego, consumo de combustível e, especialmente, emissões. Para se ter uma estimativa do consumo de combustível de um veículo, assim como emissões, estes ciclos de direção são realizados em testes de dinamômetro onde se tem o controle de velocidade versus tempo que caracteriza o ciclo a ser executado e estudado (GALGAMUWA; PERERA; BANDARA, 2016).

Em testes de dinamômetro, as rodas motoras são posicionadas em contato com os rolos, ajustados para simular perdas de energia por atrito pneu/pavimento e resistência aerodinâmica. Assim, dados de emissões e consumo de combustível são coletados enquanto o veículo percorre uma “trajetória” (variação de velocidade) pré-definida, que é projetada para simular a operação em mundo real (BARLOW et al., 2009). Tal trajetória define o ciclo de direção como um planejamento padrão da operação do veículo.

As simulações de perdas de energias são baseadas em parâmetros considerados constantes ao longo do teste e que, dependendo da dinâmica veicular no mundo real, pode ser submetido a mudanças e, logo, influenciam no consumo de combustível e emissões reais (DAVARI et al., 2017). Desta forma, a definição de um ciclo padrão comum é uma tarefa complexa por não ser representativo em modelos reais e, além disso, pode se considerar que diferentes veículos são dirigidos de formas

diferentes e os níveis de desempenho deveriam ser considerados (ANDRÉ et al., 2006).

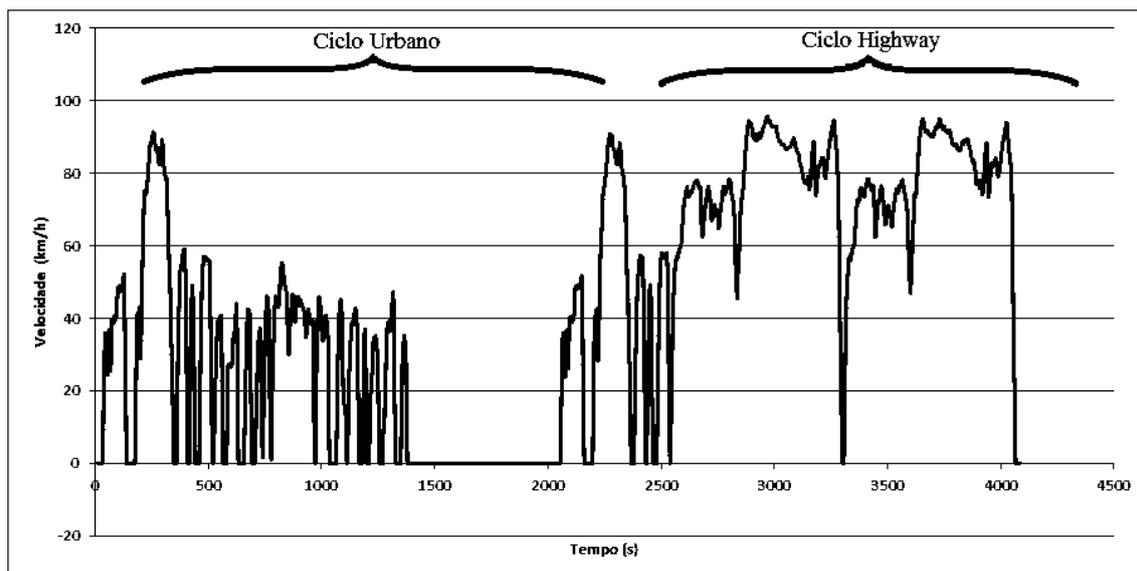
Segundo Tzirakis e Zannikos (2015), existem duas categorias principais que definem os ciclos de direção: legislativa e não-legislativa. Ciclos considerados legislativos são aqueles realizados pelas empresas de veículos na homologação de seus produtos, dentro de padrões estabelecidos por ordem governamental e órgãos ambientais. Os ciclos mais importantes, neste contexto, são o FTP-75 (Federal Test Procedure, Estados Unidos da América), NEDC (New European Driving Cycle, utilizado na Europa), e o 10-15 Mode Driving Cycle (utilizado no Japão). No Brasil, o ciclo legislativo utilizado é o FTP-75 (NBR6601). Os ciclos considerados não-legislativos são utilizados como ferramentas importantes para estudos em eficiência energética, auxiliando no projeto de novos veículos e desenvolvimento de novas tecnologias.

O ciclo FTP-75 é uma série de testes definidos pela EPA (Environmental Protection Agency), agência Americana de proteção ambiental. O ciclo consiste em três fases: Partida a frio (0-505s); Fase estável (506-1372s) e Partida aquecida (equivalente à primeira fase), após um breve intervalo (~600s) (BARLOW et al., 2009). As três fases representam condições urbanas de direção, enquanto as condições de estrada são definidas por outro ciclo denominado Highway Fuel Economy Test (HWFET). Outros ciclos suplementares definidos pela EPA combinam condições urbanas e estrada a fim de se obter resultados em modelos reais com maior precisão: US06, que caracteriza direções agressivas; SC03, ciclos com a utilização de ar-condicionado; e Ciclo frio, com temperatura ambiente a  $-7^{\circ}\text{C}$ .

Os Gráficos 2.1 e 2.2 apresentam os testes FTP-75 e HWFET, e NEDC, ciclos legislativos praticados nos Estados Unidos e Europa, respectivamente. Ambos os testes estimam e simulam uma operação em mundo real, representando ciclos predominantemente urbanos e de autoestrada.

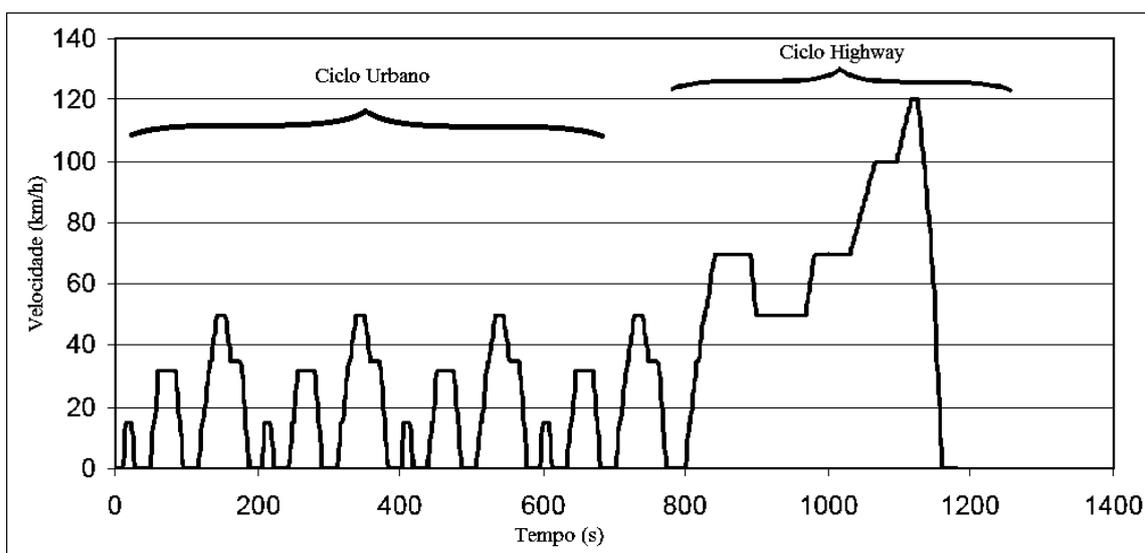
Apesar de serem ciclos normativos e utilizados para homologação de veículos e, portanto, realizados pela maioria das empresas, vários estudos questionam a representatividade dos mesmos, apontando vários fatores que afastam os ciclos legislativos dos ciclos de direção do mundo real. Assim, as estimativas de consumo de combustível e de emissões veiculares se tornam significativamente errôneas, não predizendo corretamente o comportamento do veículo em outras condições de operação.

GRÁFICO 2.1: Ciclo FTP-75 (urbano) e HWFET (estrada)



FONTE: Próprio Autor

GRÁFICO 2.2: Ciclo NEDC



FONTE: BARLOW et al , 2009

No estudo conduzido por Joumard et al. (2000), o ciclo de direção NEDC pode subestimar os níveis de emissões em até 30%, dependendo das condições de temperatura de motores movidos a gasolina. O trabalho de Tong, Hung e Cheung (1999), compara características de direção na cidade de Hong Kong, China, com as condições previstas por diversos ciclos legislativos (Estados Unidos, Austrália, Japão e Europa), concluindo que nenhum desses ciclos traduziu satisfatoriamente as características da cidade. Este estudo, então, foi a base para o desenvolvimento do ciclo de direção de Hong Kong.

Com efeito, sugere-se que ciclos de direção sejam específicos de cada cidade ou região e, portanto, as características previstas pelos ciclos normativos são impossíveis de se obter em mundo real, uma vez que condições da via em constante modificação, assim como a frota de veículos, número de veículos e comportamento do motorista no trânsito, características de velocidade, aceleração e desaceleração médias são afetadas. (TZIRAKIS; ZANNIKOS, 2015).

Tentativas de se ajustar ciclos de direção que representem melhor uma determinada região já foram largamente estudadas e validadas, representando por volta de 250 ciclos de direção diferentes, porém não legislativos. O projeto ARTEMIS foi responsável por adequar características de direção de cidades Europeias, com uma grade quantidade de ciclos avaliados, representando 12 tipos de direção diferentes. Hoje, os ciclos ARTEMIS já são utilizados para projetos Europeus e produzem um melhor entendimento com respeito aos poluentes liberados para a atmosfera (ANDRÉ, 2004).

Dentre as características que provocam divergências entre os ciclos legislativos e o mundo real, muitos estudos se concentram na maneira como o veículo é conduzido como um ponto de partida para a análise e estimativa de emissões. Por conseguinte, alguns ciclos de direção já estão considerando ciclos complementares que levam em consideração o tipo de direção agressiva, de modo a melhorar a estimativa de emissões (BARLOW et al., 2009). A Tabela 2.1 mostra resultados obtidos no trabalho de Tzirakis et al. (2006a), onde foram analisadas emissões de particulados comparando-se o estilo de direção, defensiva e agressiva. O aumento de consumo de combustível e emissões em um estilo de direção agressiva, apesar de óbvia, parece não ser de senso comum dentre a população. Mesmo veículos novos poluindo menos, devido aos avanços tecnológicos em projetos de motores e combustíveis, um modo de dirigir mais amigável deve ser encorajado. Além disso, apesar da direta percepção econômica, os efeitos ao ambiente não são visíveis a curto prazo, o que contribui para a necessidade de se incentivar estratégias para a diminuição do nível de emissão dos veículos. O estilo de direção que corrobora para atender tais expectativas é denominado Eco-driving.

TABELA 2.1

Diferenças entre direções Defensiva e Agressiva na emissão veicular(g/km) e consumo de combustível

Veículos	Direção Defensiva					Direção Agressiva				
	FC	CO	CO2	HC	NO	FC	CO	CO2	HC	NO
Primera	9,1	9,7512	236,035	0,2696	0,6123	18,4	71,2292	384,29	4,4698	0,5626
307 Xsi	9,4	0,2942	258,324	0,0514	0,0648	17	7,7983	445,51	0,2010	0,7515
Golf FSi	9,3	0,0030	240,201	0,0127	0,2110	19	7,2199	421,74	0,0608	0,1813
206	8,6	0,0010	231,343	0,0457	0,3169	17,8	0,3092	473,04	0,1300	3,0888
AR 145	9,4	7,2261	243,773	0,2912	0,0125	19	11,9576	473,90	1,1902	0,5903
Ibiza	9,3	0,0247	264,530	0,0149	0,0357	16,6	12,8374	414,34	0,1255	0,4149
M2	8,7	0,1384	250,507	0,0589	0,0276	17,1	20,6775	427,23	0,4119	0,1638
M3	8,8	0,1892	240,754	0,1376	0,0100	17,6	11,7173	461,18	0,3919	0,1339
M6	10,2	0,1902	319,972	0,0413	0,0088	24,2	44,2498	470,46	0,1365	0,0270
Tribute	11,8	0,0102	262,218	0,1349	0,0081	23,9	4,2213	475,44	0,8080	0,0769
A2 TDi	6	0,0055	113,755	0	0,5430	13,7	0,0286	438,02	1,2241	3,2641
Altea TDi	8,6	0,0039	338,787	0	0,3279	18,6	2,1986	736,94	0	3,0443

FONTE: TZIRAKIS et al., 2006

### 2.3.2 Eco-driving

Muitos parâmetros são mencionados em estudos indicando uma correspondência com o consumo de combustível, emissões de poluentes e modos de direção. Entre eles, a velocidade, aceleração, frenagem e troca de marcha sempre estão presentes, sugerindo que o comportamento do motorista e seu modo de dirigir tem efeito significativo na eficiência energética do veículo (VAEZIPOUR; RAKOTONIRAINY; HAWORTH, 2015a).

Como mencionado no trabalho de Vijayan, 2007, vários aspectos podem influenciar nas emissões de gases nocivos, mostrado na Figura 2.7. Fatores relativos ao veículo e às condições encontradas durante a rota percorrida podem não ser facilmente modificados. A degradação gradativa do veículo e suas peças ao longo da sua vida útil, assim como condições da rodovia e variações de altitude, necessitam um plano mais complexo para se obter diferenças significativas nas emissões reais. Entretanto, os fatores relacionados às condições de operação do veículo podem ser acessados e modificados, entre eles a influência do motorista e seu comportamento. Assim, uma das maneiras mais utilizadas para se alterar emissões e consumo de combustível pela influência do motorista ocorre através de estratégias de Eco-driving.

FIGURA 2.7: Fatores que afetam as taxas de emissões de gases nocivos por veículos



FONTE: Adaptada de VIJAYAN, 2007

O termo Eco-driving está associado a uma maneira de dirigir que contribui para a redução do consumo de combustível, emissão de gases do efeito estufa, número de acidentes, mantendo o veículo em um bom estado de conservação. Eco-Driving sugere uma direção inteligente, suave e segura a baixas rotações (1200 – 2500 rpm), obtendo uma economia de combustível de 5 a 10% na média (SENTERNOVEM, 2005a).

Muito tem se desenvolvido em novas tecnologias com respeito a motores mais eficientes, combustíveis com melhor desempenho e diminuição de emissões de particulados na atmosfera. Além disso, como falado, antes de serem disponibilizados para o consumidor final, veículos novos têm de passar por testes de emissões. Entretanto, essas novas tecnologias dizem respeito a condições ótimas, cuja calibração não se adéqua ao modo com que motoristas conduzem o veículo. Ensinar e encorajar motoristas, iniciantes ou experientes, é uma forma de aproximar os resultados esperados para emissões e consumo de combustível.

A fim de se obter uma direção mais econômica, ecológica e segura, algumas dicas são essenciais (SENTERNOVEM, 2005a):

- **Mudança de Marcha:** Parte da energia é perdida por atrito interno dos componentes do motor. A medida que a velocidade de rotação aumenta, também aumentam as perdas de energia não transformada efetivamente em trabalho. Aconselha-se manter o motor em rotações baixas (1200-2500 rpm) com trocas de marcha mais cedo;
- **Controle de Velocidade:** Manter uma velocidade constante (em marcha mais alta) reduz a necessidade de paradas desnecessárias e aproveita melhor a inércia do veículo. Intervalos curtos de aceleração e frenagem desperdiça energia. Também tem grande influência em segurança no trânsito e no conforto do ocupante do veículo;
- **Antecipar situações de trânsito:** Atenção no trânsito reduz o número de frenagens bruscas e desnecessárias que desperdiça energia;
- **Desaceleração suave:** Além de reduzir custos de manutenção com desgaste dos freios, pastilhas e discos, alguns veículos novos são equipados com uma tecnologia que corta a injeção de combustível na frenagem, diminuindo o consumo;
- **Desligar o motor em paradas:** Um carro com motor ligado, mas ocioso, gasta o equivalente a 0.5litros de combustível por hora (em média). Em paradas mais longas que 1 minuto, combustível pode ser economizado;
- **Não acelerar ao ligar:** Ao ligar o motor, sistemas eletrônicos do veículo sabem as condições ideais de operação. Acelerar ao ligar pode confundir o sistema, provocando erros de injeção e razão ar-combustível, aumentando simultaneamente o consumo e emissões de CO<sub>2</sub>;
- **Direção em curvas:** Ao se aproximar de uma curva, soltar o pedal do acelerador em momento correto para que a velocidade de entrada na curva seja compatível, diminuindo a ocorrência de frenagem. O uso excessivo dos freios também provoca grande transferência de massa aos eixos, podendo ocasionar problemas mecânicos;
- **Peso:** Em média, para veículos de passeio, a cada 100Kg adicionados, aumenta o consumo de combustível em 6%, aproximadamente;
- **Aerodinâmica:** O desempenho do veículo é testado exaustivamente em túneis de

vento de forma a diminuir o arrasto. Ao adicionar carga no compartimento de bagagem superior, ou fazer qualquer alteração de perfil, as condições de arrasto poderão ser afetadas de forma que aumente o consumo de combustível;

- Pressão dos Pneus: Pressão incorreta nos pneus aumenta a resistência ao rolamento. Além disso, aumenta a distância percorrida na frenagem;
- Utilização de acessórios consumidores: Recomenda-se o uso de ar-condicionado somente em dias muito quentes, e em temperaturas superiores a 23°C.

Embora sistemas de Eco-driving e similares terem como foco, primeiramente, veículos com transmissão manual, o princípio básico se estende aos veículos que possuem transmissão automática. Em sistemas automáticos, acelerações e desacelerações de menores gradientes provocam a troca de marchas a rotações mais baixas do motor e logo, mais suaves, além de contribuir para a segurança no trânsito e vida útil das peças (HAWORTH; SYMMONS, 2001).

Além de contribuir para a diminuição de consumo de combustível e emissões do veículo que está realizando ações conforme sugerido pelas dicas de eco-driving, essa atitude também é capaz de influenciar outros veículos que, por um período de tempo, também realizarão algumas ações consideradas mais econômicas e ecológicas (ANDO; NISHIHORI, 2011). Para, então, se ter um ganho significativo em consumo de combustível e emissões, já em escala global, se torna importante o treinamento dos motoristas e a conscientização do que seu estilo de direção possa resultar.

Entretanto, o treinamento e a motivação dos motoristas para continuar a utilizar essas estratégias não são tarefas simples e, nem sempre, somente o treinamento é efetivo a longo prazo. No trabalho de AF Wahlberg, 2007, foram analisados os efeitos do treinamento de motoristas de uma frota de ônibus durante um ano após o treinamento. No geral, as diferenças em consumo de combustível, quando se analisa dois grupos distintos, com e sem treinamento, obteve-se uma melhoria em cerca de 1,3%. No mesmo trabalho, porém, foi introduzido um sistema de feedback com respeito às atitudes dos motoristas, e, após sua introdução, obteve-se melhoria em consumo de cerca de 3%.

Desta forma, os sistemas de feedback para informar os motoristas a respeito de sua direção se tornam importantes para a continua melhoria em consumo e emissões. No estudo realizado por Tulusan et al., 2011, no ambiente automotivo, existem três formas efetivas de se dar feedback aos motoristas com objetivo de se ter uma direção

eficiente: Instantânea, Acumulada e Off-line.

- Feedback instantâneo: A informação é transmitida em tempo real ao usuário, indicando o tipo de direção está sendo executada (agressiva ou passiva). Esse tipo de feedback deve obter sucesso, mas nem sempre é bem recebido pelos motoristas, uma vez que requer uma maior atenção ao próprio sistema, e pode ser motivo de frustração por não conseguir atingir um objetivo;
- Feedback acumulado: A informação é transmitida em pacotes geralmente espaçados em um longo período de tempo (uma hora ou mais). Desta forma, os usuários podem ter informações de sua direção como um todo, sem precisar estar o tempo todo focado nas informações transmitidas. Ainda, essa ideia introduz o sistema de recompensas, a fim de dar motivações extras aos usuários;
- Feedback off-line: Nessa estratégia, as informações são repassadas como um todo ao usuário, após serem processadas e analisadas por um software a parte. Neste caso, o efeito do feedback é mais detalhado, com informações acerca do consumo e emissões, aceleração, frenagem e trocas de marchas. Uma característica desse tipo de feedback, é a integração de uma comunidade externa, como redes sociais, onde cada “conquista” pode ser compartilhada e desafios dentro da comunidade podem ser realizados, contribuindo para a motivação dos usuários em utilizar o sistema.

Em resumo, os sistemas de feedback podem ser uma importante ferramenta para obter melhorias em consumo e emissões, se aceitos pela comunidade. Segundo Vaezipour, Rakotonirainy e Haworth, 2015, esses sistemas só serão bem recebidos pelos usuários somente se estes perceberem ganhos satisfatórios. Com isso, o conceito de “gamificação” (modelo de recompensas em jogos) pode ser explorado, promovendo, não a competição, mas a melhoria na condução de seus usuários a fim de se obter melhorias significativas em relação aos níveis de emissões globais (BELLOTTI; BERTA; DE GLORIA, 2014).

## **2.4 Trabalhos relacionados**

Recentemente, diversos estudos estão sendo realizados utilizando dados diretamente obtidos da Rede CAN e com auxílio de outras ferramentas (como um smartphone) para contribuir na experiência do usuário com seu veículo e troca de informações a respeito da qualidade da sua direção, em termos da eficiência energética.

O trabalho de Meseguer et al. (2013), utiliza da criação de redes neurais para o aprendizado do sistema com respeito ao tipo de rodovia e ao comportamento do motorista, com a respectiva rota. Desta forma, assim que o sistema obtiver informações da rota a ser percorrida pelo usuário, o sistema já tem informações do tipo de rodovia e, logo, o estilo de direção que essa propõe. A aplicação desenvolvida, então, mostra ao usuário as características de sua direção (agressiva, normal, passiva) por análise dos dados via OBD-II. O sistema desenvolvido foi capaz de fornecer informações a respeito da via com 98% de acerto, ao passo que o estilo de direção obteve índice de 77% de acerto, considerado satisfatório pelos autores a nível de predição. Assim, uma informação mais assertiva repassada ao usuário e/ou utilizada para realização de outros tipos de processamento é essencial para que o sistema tenha o efeito desejado.

Muitos estudos enfatizam que a maneira com que as informações são transmitidas aos usuários pode influenciar negativamente na sua experiência com o sistema, e são feitos esforços para que sua aplicação não distraia a atenção do usuário e interfira na sua tarefa principal. Assim, esses estudos sugerem informações sonoras aos usuários, em adição às aquelas informadas na interface do sistema. No estudo desenvolvido por Barbé e Boy, 2006, essas informações sonoras são repassadas quatro segundos após a informação visual é disponibilizada, se caso a mensagem visual específica não tenha sido obedecida. Já em Munoz-Organero e Magana, 2013, seu sistema desenvolvido envia informações sonoras, através do smartphone do motorista, analisando juntamente a velocidade com que o veículo está desenvolvendo. Desta forma, ao detectar um evento, o sistema envia a mensagem com tempo hábil para que o motorista possa desenvolver tal ação.

Como dito por Barbé e Boy, 2006, as informações visuais podem ocasionar sobrecarga ao usuário e influenciar negativamente a eficiência do próprio sistema. Assim, não somente como as informações serão transmitidas é de extrema importância, mas também a relevância de tal informação pode ser outra forma de solucionar esse problema. Ou seja, a fim de se evitar uma possível sobrecarga de informações ao usuário, o sistema deve identificar qual mensagem deve ser transmitida, a qual possuir maior relevância em curto prazo, diminuindo assim a frequência de informações transmitidas ao condutor.

Com esse intuito, o trabalho de Ando e Nishihori, 2012, introduz quatro parâmetros indicadores para definir qual mensagem será enviada ao usuário. Os indicadores utilizados dizem respeito ao número de partidas (ou variações de velocidade

em mais de 20km/h em 5 segundos), percentual de tempo com mudanças bruscas na velocidade, percentual de tempo com veículo ligado e parado, e percentual estimado de emissões de CO<sub>2</sub>. A análise desses indicadores é feita através de uma graduação para, assim, identificar qual informação será enviada ao usuário.

Outro parâmetro indicador é proposto por Hari et al., 2012, chamado IPS (inertial power surrogate), que avalia o produto da velocidade com a aceleração do veículo. Assim, uma diminuição nesse parâmetro sugere um menor trabalho trativo, ou seja, menor energia é perdida para alterações no movimento. O sistema proposto avalia diversos parâmetros recebidos pela porta OBD-II e processa os dados para fornecer informações visuais e sonoras ao condutor. Ainda, o sistema possui um indicador de trocas de marcha, contribuindo para obter economias em consumo de combustível de cerca de 7,6%.

Contribuindo para a ideia de indicadores e avaliação da relevância e prioridade de mensagens a serem enviadas ao usuário, o trabalho desenvolvido por Araújo et al. (2012) teve como objetivo implementar uma aplicação de coaching em um smartphone, que processa os dados recebidos da CAN, classifica-os, e gera dicas de melhorias de direção. O assistente, portanto, é capaz de coletar dados do veículo, relativos às informações dinâmicas do mesmo, realizar um levantamento estatístico acerca do modo de dirigir do motorista, e dar um feedback ao usuário a respeito do quão eficiente está sua direção, dando dicas de como melhorá-la.

Para a aquisição de dados em tempo real, foi utilizado um conector OBD-II, transmitindo os dados a um smartphone através da conexão Bluetooth. Baseados nas condições de uso (urbano, rodovia e combinados), e no consumo de combustível atual do veículo, as dicas para melhorias de performance que são dadas ao usuário se concentram nas seguintes:

- 1) H1: Direção eficiente, não necessita correções;
- 2) H2: Desligue o motor, veículo parado por x minutos;
- 3) H3: Troque a marcha mais cedo;
- 4) H4: Muita aceleração;
- 5) H5: Muita desaceleração;
- 6) H6: Usar mais “coasting” (Utilizar melhor a inércia do veículo);
- 7) H7: Muito agressivo no pedal de acelerador;
- 8) H8: Reduza a velocidade.

O aplicativo criado apresenta uma interface de monitoramento do veículo

em tempo real. Nessa interface é apresentada as informações de consumo de combustível (código de estrelas 1-consumindo muito, 4- consumindo pouco) e onde são informadas as dicas para o usuário. Ainda apresenta uma estatística acumulada de todas as variáveis monitoradas e um levantamento gráfico do histórico da direção.

O estudo se baseia em classificadores (h1- tipo de direção, h2-consumo, h3-dicas). No processo de validação, a maior parte das dicas relacionadas à correções de direção são de troca de marchas em momentos errados (dica 3), seguido de acelerações mais suaves (dica 4), cuja ocorrências se deram com um significativo aumento do consumo de combustível.

Em resumo, ter um agente avaliador em tempo real da direção dos motoristas com retorno de informações é de grande importância e necessidade para se obter menores consumos de combustível e, tão logo, aumento de eficiência, o que viabiliza a criação desses sistemas.

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os procedimentos que foram adotados para análise das diferenças de consumo de combustível e emissões de gases variando-se o momento de trocas de marchas. Com esse objetivo, serão apresentadas as etapas preliminares de obtenção de dados, teste FTP-75 e HWFET e identificação de marchas, assim como os ensaios de ciclo padrão com e sem indicadores de troca de marchas. Por fim, foi proposto um sistema (sem conexão direta com a rede CAN do veículo) para implementação de um GSI alternativo e análise de possíveis indicadores que possam servir como parâmetro para melhoria de consumo de combustível e emissões de gases, atuando no estilo de direção do condutor.

#### 3.1 Teste preliminar NBR6601

Para as análises preliminares, conhecimento das características de operação do veículo estudado e sugestão de um algoritmo de trocas de marcha, que não utilize comunicação direta com a rede CAN do veículo, foram necessárias aquisições de dados durante o funcionamento do veículo. Para tal, foram utilizados os ciclos FTP-75 e HWFET (Urbano e Estrada), ciclos os quais são utilizados para fins de homologação, realizados nos laboratórios da empresa com sistema de aquisição dedicado e pessoal treinado.

O sistema de aquisição de dados utilizado, além de possuir altas frequências de coleta de dados, também indica ao motorista do teste o momento exato de trocas de marcha, baseado em estudos prévios, que resultam em menores níveis de consumo de combustível e emissões de gases de efeito estufa.

Com isso, o veículo é levado a um dinamômetro de rolo em condições controladas, que simula as condições de pista, atrito entre pneu e pavimento, arrasto, entre outros fatores. Desta forma, os resultados obtidos durante o teste projeta o desempenho do veículo em condições reais, sendo em conduções no meio urbano ou em altas velocidades, com o ciclo estrada.

Com os resultados obtidos, foram realizados mapas com a coleta das seguintes variáveis: rpm, velocidade, posição da válvula borboleta, carga, torque, consumo de combustível e marcha ativa. Os mapas obtidos são necessários para se obter

relações entre as variáveis e o consumo de combustível, inclusive com a influência de cada marcha utilizada no resultado. Assim, os resultados servirão como base para as discussões e implementação da proposta, com coleta de dados via porta OBD-II, e sugestão de trocas de marcha sem acesso direto à rede CAN do veículo.

### 3.2 Algoritmo de troca de marcha via monitoramento de dados da OBD-II

O algoritmo a ser discutido nesta sessão tem como objetivo seguir como padrão de trocas de marcha a serem sugeridas ao usuário do veículo, pendendo ser implementado em plataformas independentes do veículo. Para um veículo que já possui um GSI integrado ao painel do veículo, a empresa pode ajustá-lo para que os dois tenham comportamentos semelhantes em termos de consumo e emissões de particulados. Assim, uma possível aplicação externa ao veículo pode ser desenvolvida sem acesso direto à rede CAN e, logo, sem comprometimento à segurança do usuário.

O algoritmo apresentado foi proposto por Blagojevic et al., 2012, com monitoramento de variáveis que estão sujeitas à variação conforme requisição do motorista e que estão disponíveis na porta OBD-II do veículo: carga ( $L$ ), posição do pedal ( $\emptyset$ ), rotação do motor ( $n$ ) e velocidade do veículo ( $v$ ). Devido a algumas divergências entre o algoritmo original e os resultados obtidos através dos mapas, algumas modificações foram necessárias para a aplicação do algoritmo no veículo estudado. Conforme for apresentada, no próximo capítulo, serão explicitadas as modificações realizadas.

Além dos parâmetros variáveis, a serem lidos constantemente pela OBD-II, o algoritmo necessita de uma etapa de avaliação para a definição de alguns parâmetros fixos. Os mapas e relações obtidas na sessão anterior são suficientes para a definição dos parâmetros fixos exigidos, que são:

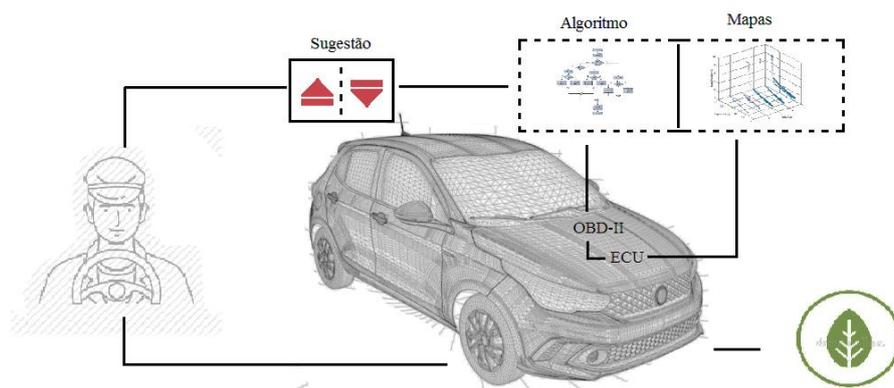
- Relação entre as marchas;
- Rotação do motor mínima para cada marcha:  $n_{min}$ ;
- Rotação do motor para máximo torque:  $n_{Memax}$ ;
- Posição inicial do pedal:  $\emptyset_0$ ;
- Máxima carga  $L_{iconst}$  para a máxima abertura de pedal  $\emptyset_{iconst}$  da região linear (velocidade constante), para cada marcha;
- Mínima carga  $L_{amax}$  e mínima posição do pedal  $\emptyset_{max}$  na região de máxima

aceleração;

- Limite de  $L/\varnothing$  para a região de aceleração para cada marcha, excluindo a 1ª marcha;

Desta forma, o algoritmo será capaz de sugerir trocas de marchas eficientes, de modo a contribuir para economia de combustível e diminuição de emissões (Figura 3.1).

FIGURA 3.1: Esquema do modelo para trocas de marchas com uso da porta OBD-II



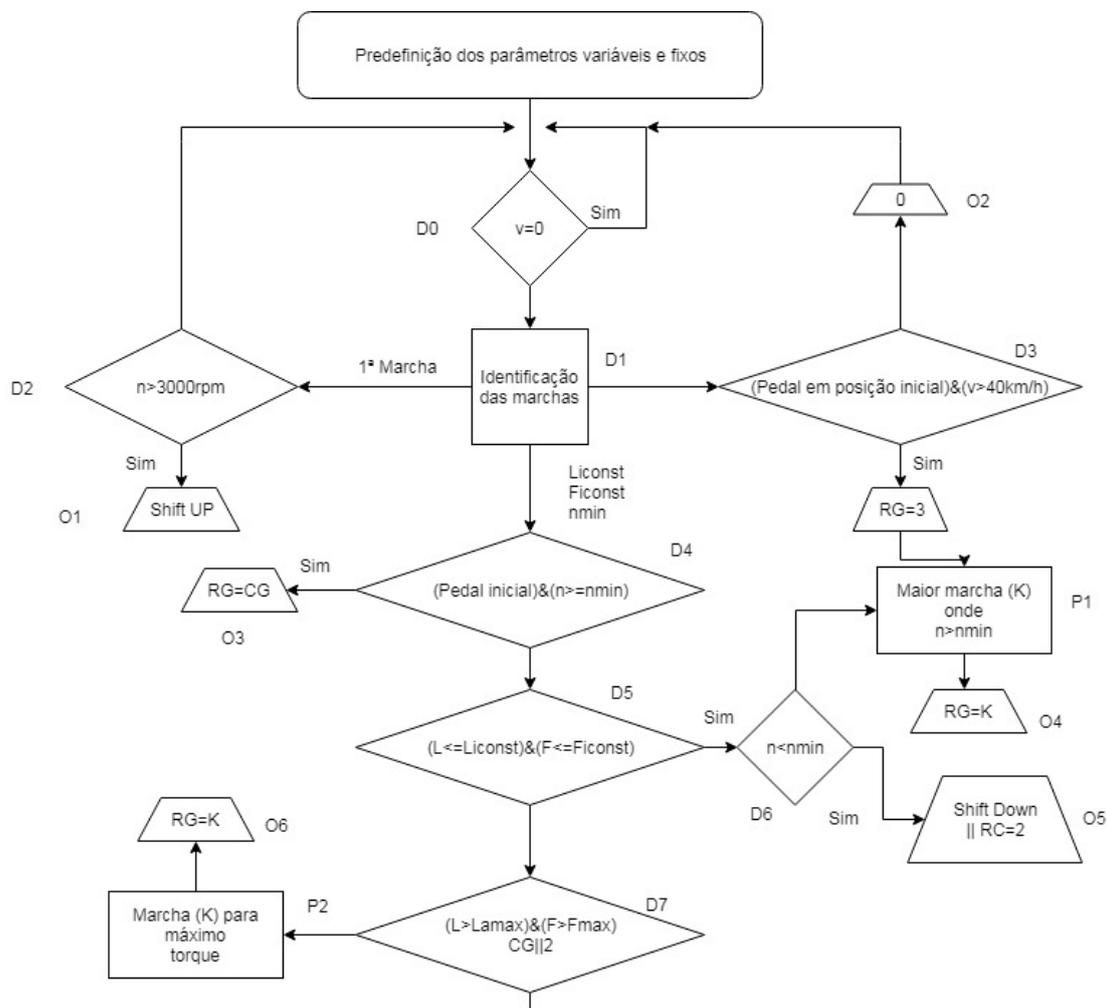
FONTE: Próprio Autor

Para a construção do algoritmo, primeiro se estabelecem os parâmetros fixos determinados a partir da análise dos mapas de calibração ( $n_{min}$ ,  $n_{Memax}$ ,  $\varnothing_0$ ,  $L_{iconst}$ ,  $\varnothing_{iconst}$ ,  $L_{amax}$ ,  $\varnothing_{max}$ ,  $L/\varnothing$  e relação entre marchas  $n/v$ ) e só irá atuar se a velocidade do veículo for maior que zero, ou seja, se o veículo estiver em movimento (D0). O fluxograma que mostra a construção e os passos do algoritmo se encontra na Figura 3.2 e Figura 3.3.

O primeiro passo é a identificação das marchas através da relação entre rotação e velocidade, mostrada na determinação D1. Caso seja identificada a 1ª marcha atuante, será verificada a rotação do veículo, que somente irá sugerir a troca de marcha, para a segunda marcha, caso a rotação ultrapasse 3000rpm (D2, O1). Caso nenhuma marcha seja identificada, será verificado se o veículo se encontra com o pedal em posição inicial e velocidade superior a 40km/h (D3). Caso verdadeiro, será sugerida a terceira marcha, a priori, mas será verificada a maior marcha para que a rotação do veículo esteja condizente com a mínima para aquela marcha específica (Procedimento P1). Assim, será sugerida a marcha a qual atente essas condições (Output O4). Se, em D3, a velocidade for inferior a 40km/h, não será sugerida nenhuma marcha (O2), até

que o usuário realize a intervenção.

FIGURA 3.2: Algoritmo de troca de marchas para o sistema proposto. Parte 1



FONTE: Adaptada de BLAGOJEVIĆ et al., 2012.

Após a identificação da marcha (D1), o sistema já saberá os parâmetros predefinidos para aquela relação de transmissão ( $L_{iconst}$ ,  $\phi_{iconst}$  e  $n_{min}$ ). Se o pedal de aceleração não estiver atuante,  $\phi = \phi_0$ , será verificada se a rotação do motor está condizente para aquela marcha (D4). Caso verdadeiro, mantém-se a marcha indicada (O3).

A condição falsa da verificação realizada em D4 indica um tipo de movimento de velocidade quase constante, que mostra a relação entre a posição do pedal e carga (D5). Caso verdadeiro, é verificado se a rotação do motor é compatível com a rotação mínima para a marcha identificada (D6), indicando um “shift down” caso contrário. Se a marcha ativa for a segunda, está então é mantida (O5). No caso positivo de (D6), é verificada a maior marcha para que a rotação do motor esteja compatível

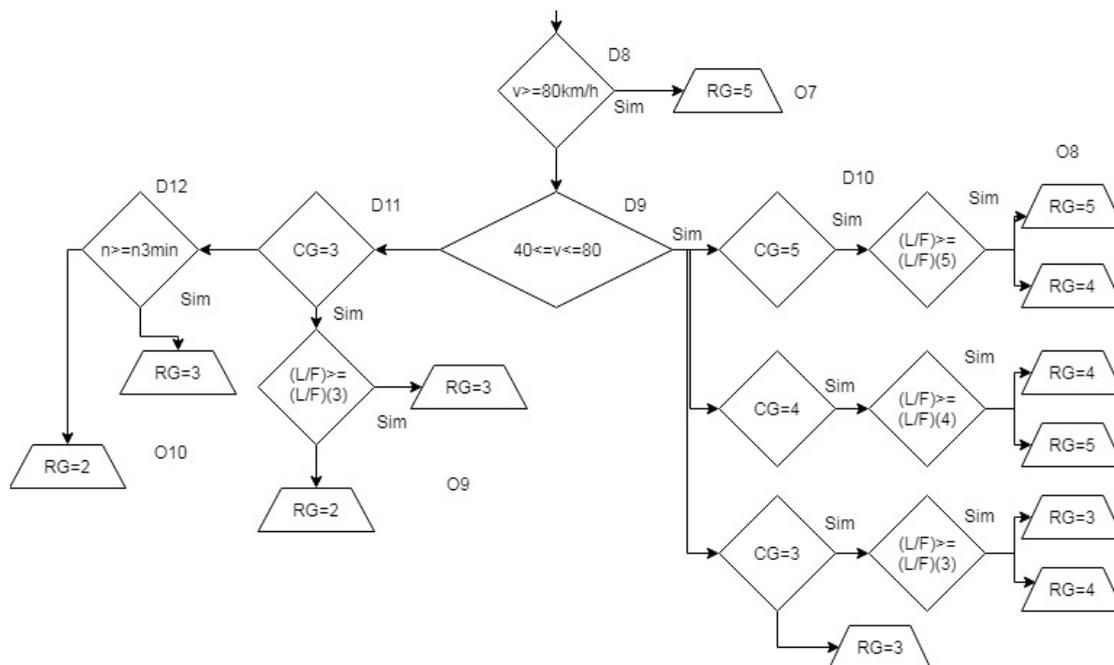
(P1).

Se o veículo estiver na condição de máxima aceleração, determinada por D7, será realizada a conferência da relação de transmissão que resultará num máximo torque ao veículo (P2), e logo, será sugerida a marcha encontrada (O6). Caso o movimento identificado não seja o encontrado por D5 e D7, será avaliada a velocidade do veículo. Caso essa seja maior que 80km/h (D8), sempre será sugerida a 5ª marcha (O7).

Para velocidades menores que 80km/h e superiores a 40km/h será avaliada a relação carga/pedal em comparação com a mesma relação previamente determinada para cada marcha. Assim, dependendo de cada marcha ativa (D10) e da relação  $L/\phi$ , será sugerido um “up shift” ou “down shift” (O8). Caso a marcha ativa, para essa condição de velocidade, não seja igual ou superior à terceira marcha, essa, então, será a mínima sugerida.

Para velocidades inferiores a 40km/h, espera-se que a terceira marcha esteja ativa (D11). Caso verdadeiro, avalia-se a relação  $L/\phi$  e compara-se com a predeterminada para essa condição de transmissão. Caso a relação  $L/\phi$  for menor, a segunda marcha será sugerida (O9). Para condições falsas do determinado em D11, será avaliada a rotação do motor. Se essa for compatível com a terceira marcha (D12), a mesma será sugerida. Caso contrário, a segunda marcha será sugerida (O10).

FIGURA 3.3: Algoritmo de troca de marchas para o sistema proposto Parte 2



FONTE: Adaptada de BLAGOJEVIĆ et al., 2012.

A fim de avaliar a efetividade do algoritmo, uma simulação ou um sistema de aquisição de dados em tempo real deve ser desenvolvido. Uma vez que as variáveis monitoradas são facilmente obtidas por meio da leitura da porta OBD-II do veículo, um dispositivo para requisição dos dados será proposto e apresentado na próxima sessão.

### **3.3 Sistema de aquisição de dados para leitura via OBD-II**

#### 3.3.1 Conector ELM 327

Hoje, todos os veículos produzidos devem, por lei, possuir uma porta de diagnósticos para que se conecte a uma interface de monitoramento, para que os dados, que seguem diversos padrões de comunicação, possam ser lidos e analisados por um software dedicado. O conector ELM 327 funciona como uma ponte entre a porta de diagnósticos OBD-II e algum dispositivo ou computador, para que esses dados possam ser interpretados e lidos corretamente. Ainda, esse conector é capaz de interpretar nove protocolos diferentes de comunicação, com troca de informações em altas velocidades e possui pouco consumo de energia em standby.

O ELM 327 comunica com outros dispositivos através da comunicação serial RS232, mas conectores comuns possuem adaptadores para comunicação USB e Bluetooth. Comandos para uso interno do conector são denominados como ‘AT’, enquanto os comandos para a porta OBD-II só podem conter valores hexadecimais (0 a 9, A a F). O envio de cada comando é terminado através de um caractere de retorno de carro (Carriage return character) informando que o comando fora terminado. Após o recebimento da mensagem, o software ou dispositivo deve sempre esperar por um ‘>’, indicando que a mensagem fora totalmente recebida, e o microcontrolador interno ao conector executou uma interrupção.

O padrão SAE J1979 (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, 2006) define alguns modos de diagnóstico para a porta OBD-II que podem ser requisitados e lidos pelo conector ELM 327:

- 01 – mostrar dados correntes;
- 02 – mostrar dados congelados;
- 03 – mostrar códigos de erro de diagnósticos;
- 04 – limpar códigos de erro e valores armazenados;
- 05 – sensores de oxigênio (resultados de testes);

- 06 – outros sensores de monitoramento;
- 07 – mostrar códigos de erro pendentes;
- 08 – Operação de controle do sistema on-board;
- 09 – Requerer informação do veículo;
- 0A – Códigos de erro permanentes

Além dos modos supramencionados, os fabricantes podem definir alguns modos de operação de interesse, e não são obrigados a atender todos os modos, assim como os PIDs (parameter Ids) em cada modo. No Anexo 1 está presente uma tabela com os PIDs padrões disponíveis no modo 01 (modo de leitura de dados em tempo real), assim como o número de bytes necessários para cada variável, e a respectiva fórmula para conversão dos valores.

Em cada modo de operação existe o PID 00 que informa quais PIDs estão disponíveis para serem lidos. No caso do modo 01, o código de envio desse parâmetro é “01 00”, e o retorno da informação, por exemplo, será do tipo “41 00 BE 1F A8 13”. Os termos “41 00” existem para que o sistema de leitura tenha conhecimento que a mensagem de resposta corresponde à requerida, sendo o ‘41’ a informação do modo e ‘00’ o PID requisitado. O restante das informações corresponde aos PIDs disponíveis para serem lidos entre 01 e 20 (no sistema hexadecimal). A Tabela 3.1 mostra a informação contida na mensagem recebida no exemplo mostrado, indicando os PIDs disponíveis, neste caso.

TABELA 3.1  
PIDs disponíveis para uma mensagem “41 00 BE 1F A8 13”

Hexa	B				E				I				F			
Bin	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
S/N	S	N	S	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S	S	S	S
PID	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10
Hexa	A				8				1				3			
Bin	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
S/N	S	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	S	N	N	S	S
PID	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20

FONTE: SAE J1979

Cada dígito no sistema hexadecimal possui quatro bits no sistema binário.

Desta forma, a mensagem no exemplo anterior é enviada com a separação dos bytes correspondentes. Numa mensagem padrão, cada byte de número hexadecimal deve ser convertido em decimal. Em seguida é aplicada uma equação específica para cada variável (consultar Anexo 1) para se obter o valor da grandeza de interesse. Por exemplo, no caso de leituras de rotação do motor, o PID para essa variável é o '01 0C', sendo uma variável de dois bytes. Uma mensagem do tipo '41 0C 1A F8' terá a resposta com dois bytes hexadecimais, sendo o primeiro 1A e o segundo F8. Segundo a norma SAE J1979, a equação que converte esses dados recebidos em valores decimais é

$$rpm = (256 * A + B)/4 \quad (3.1)$$

onde A é o valor decimal do primeiro byte, e B do segundo byte. Assim, a resposta da conversão direta de 1A e F8 será, respectivamente, 26 e 248. Aplicando-se o resultado na Equação 3.1, logo, tem-se um valor final de rotação de 1726rpm.

Cada variável se comporta de uma maneira diferente e tem equações diferentes, dependendo do valor máximo e mínimo que aquela variável pode receber. Em cada byte, o valor máximo, decimal, possível é 255. Variáveis como a velocidade, que não ultrapassam esse valor, mas possuem grandeza semelhante, o valor final é apenas o valor lido, após conversão hex-dec. Todas as equações, número de bytes e limites de valores das variáveis se encontram no Anexo 1.

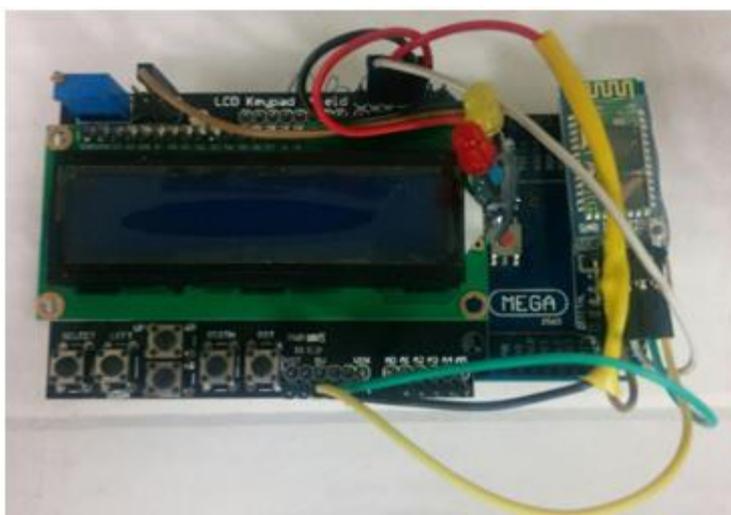
### 3.3.2 Construção do protótipo para leitura de dados veiculares

O conector ELM327 utilizado possui conexão Bluetooth, podendo ser acessado por dispositivos móveis e módulos conectados à placas de desenvolvimento. Para a construção do sistema de aquisição de dados, utilizou-se de uma placa Arduino Mega 2560, com processador ATMEL ATmega2560, com 8kB de memória RAM e 4kB de EEPROM (cerca de quatro vezes mais que o Arduino UNO ATmega328). As placas Arduino se destacam pelo preço e praticidade de programação e implementação, sendo basicamente utilizadas para construção de protótipos. Ainda existem outros tipos de placas Arduino, possuindo maior capacidade de armazenamento e processamento, e módulos já integrados (Wi-Fi, Bluetooth), porém mais caras.

Além da placa de desenvolvimento, para a comunicação Bluetooth com o conector ELM 327, foi utilizado um módulo HC-05 com a funcionalidade Master para

requisições de mensagens ao conector OBD-II. Para visualização e controle do código desenvolvido durante os testes, foi adicionado um Shield LCD compatível com as placas Arduino. A vantagem desse Shield é a praticidade, excluindo-se a necessidade de montagem em protoboard que, com a vibração do veículo durante os testes, poderia resultar em curtos, perda de sinal e diversos erros não previstos. Também foram adicionados LEDs para a implementação do algoritmo de troca de marchas, previamente apresentado, para indicar as sugestões de marchas ao motorista do teste. O protótipo está apresentado na Figura 3.4.

FIGURA 3.4: Protótipo do sistema de aquisição de dados OBD-II em tempo real



FONTE: Próprio Autor

Uma etapa crucial para o sucesso do projeto é o correto pareamento do módulo HC-05 com o conector ELM 327. Um dos problemas que pode ocorrer após esse procedimento é a desconexão entre os dois dispositivos. Uma vez conectados, o ELM 327 não fica disponível à outros dispositivos Bluetooth para conexão. Entretanto, se o módulo HC-05 já pareado não estiver em funcionamento, e outro dispositivo requisitar o pareamento com o ELM 327, tendo a informação do número MAC do conector, esse dispositivo pode realizar o pareamento normalmente. Assim, a menos que seja criada uma camada de proteção onde o conector utilizado somente poderia ser pareado a um dispositivo, seria necessário realizar o pareamento todas as vezes que o equipamento fosse ligado, a fim de assegurar a conexão entre os dois dispositivos, o que levaria a uma perda de tempo e possível não integração do usuário com a tecnologia. Para fins do estudo, esse procedimento fora feito uma única vez, tendo em vista que

alguma possível tentativa de conexão com outro dispositivo poderia ocorrer durante os testes.

Com a conexão Bluetooth estabelecida, para a implementação do sistema de aquisição de dados via porta OBD-II é necessária a identificação e definição do protocolo de comunicação OBD-CAN utilizado pelo veículo a ser estudado. O dispositivo ELM327, versão 2.1, consegue identificar, automaticamente, o protocolo para todos os veículos fabricados posteriormente ao ano de 2012. Para o veículo estudado, Argo 2017 1.0 litros, 3 cilindros, o protocolo identificado foi Protocolo 7: ISO 15765-4 29 bit, 500kbaud.

Após a identificação do protocolo de comunicação, foi feita uma busca, com base na norma SAE J1979, através do comando '01 00', das informações que seriam possíveis o rastreamento em tempo real. A Tabela 3.2 informa os dados possíveis segundo a norma e disponibilizados pelo veículo.

TABELA 3.2

Dados OBD Disponibilizados na porta OBD-II do veículo

PID	Descrição	PID	Descrição	PID	Descrição
01	Monitor Status	0E	Timing Advance	21	D. Malfunction Lamp
03	Fuel System Status	0F	Intake Air Temp.	2F	Fuel Tank Level
04	Calc.Engine Load	11	Throttle Position	33	Abs. Bar. Pressure
05	Eng. Coolant Temp.	13	Oxy. Sensor Present	40	PID (41-60)
06	Short Fuel Trim	14	Oxygen Sensor 1	41	Mon.Stat. Drive C.
07	Long Fuel Trim	15	Oxygen Sensor 2	42	Control Module Volt.
0B	Int Man Abs Pressure	1C	OBD Standards	45	Relative Throttle P.
0C	Engine RPM	1F	Run Time Eng. Start	47	Absolute Throttle B.
0D	Vehicle Speed	20	PID (21-10)	49	Absolute Throttle D.
-	-	-	-	4A	Absolute Throttle E.

FONTE: SAE J1979, 2006

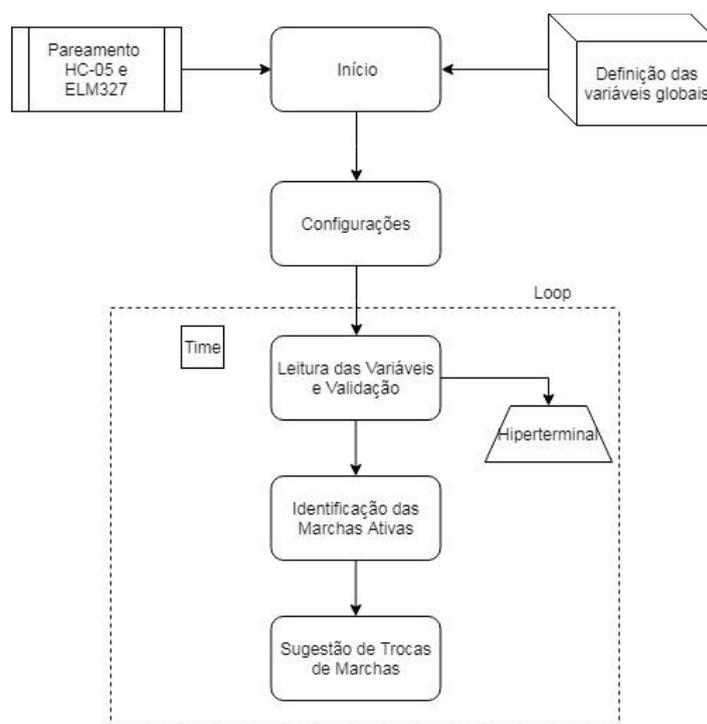
Com os dados possíveis de serem monitorados, indicados pela Tabela 3.2, foi necessário definir as variáveis factíveis com o estudo. Tomando como princípio, como dito no capítulo anterior, que os principais fatores que afetam o consumo de combustível, numa condução real, são a troca equivocada de marchas, acelerações e desacelerações excessivas, altas rotações do motor, entre outros, os parâmetros

escolhidos para serem monitorados foram: rpm (PID 010C), velocidade (PID 010D), carga (PID 0104), posição da borboleta (PID 0111), temperatura do ar de entrada (PID 010F), pressão do ar de entrada (PID 010B), ajuste de combustível a curto e longo prazo (PIDs 0106 e 0107).

Com os quatro primeiros parâmetros, pode-se aplicar o algoritmo de troca de marchas proposto por Blagojević et al., 2012, e avaliar seu impacto em consumo de combustível e emissões de gases. Os outros parâmetros serão analisados posteriormente para se realizar uma estimativa de consumo de combustível e emissões por meio da análise dos dados obtidos pela porta OBD-II, somente.

Tendo construído o hardware para o sistema de aquisição de dados e definido as variáveis a serem monitoradas em tempo real, se faz necessário, portanto, a construção de um software que realize as requisições das informações e devidas conversões para obtenção do valor real da variável solicitada. Além disso, o software será capaz de realizar, em tempo real, a identificação das marchas e sugerir, com base no algoritmo já apresentado, trocas de marchas em momentos específicos, a fim de se obter menores valores em consumos e emissões. As variáveis coletadas serão dispostas em um hiperterminal para serem posteriormente analisadas. Desta forma, a estrutura base do software está apresentada na Figura 3.5.

FIGURA 3.5: Sequência para a definição do software desenvolvido



FONTE: Próprio Autor

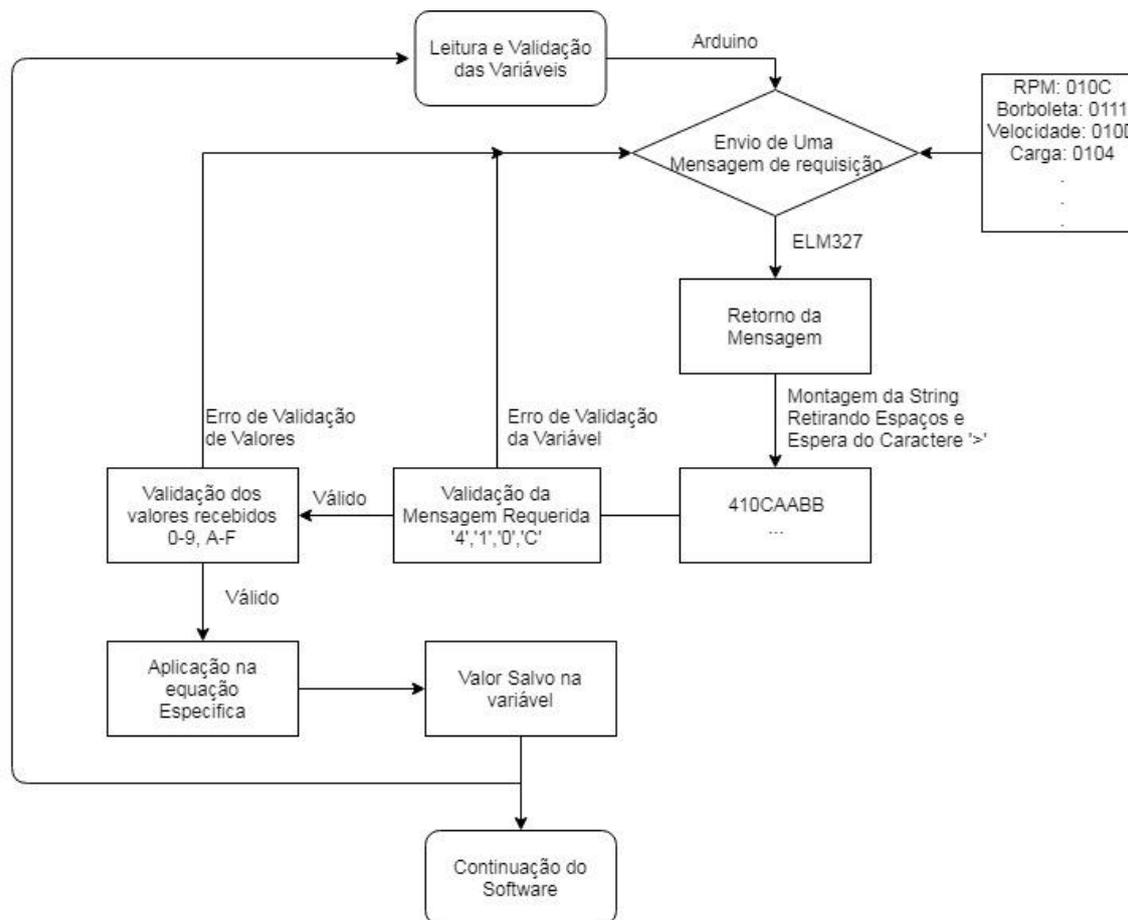
A base do software desenvolvido possui três etapas. Na primeira etapa, como já mencionado, são realizadas as configuração do Hardware, com o pareamento do módulo HC-05 com o conector ELM 327, e Predefinição de variáveis globais. Na segunda etapa, são realizadas as configurações de software, como velocidade de transmissão de dados, do mostrador LCD e configurações iniciais do conector ELM 327, onde será definido o protocolo a ser utilizado (ISO 15765-4). A ultima etapa são realizadas as funções principais do programa, com leitura e validação dos dados, identificação das marchas ativas e aplicação do algoritmo de sugestão de trocas de marchas.

Após o envio das requisições pela placa de desenvolvimento, 010C para o RPM, por exemplo, o programa espera a comunicação com o conector para o recebimento da resposta. Para o modo 01, a mensagem esperada é do tipo '41 0C AA BB', onde os dois primeiros bytes da resposta indicam o modo e o PID requisitado. O software lê cada caractere por vez, montando a string para validação e cálculos posteriores, até o recebimento do caractere '>' que indica o fim da mensagem. Com a string pronta, a mensagem recebida deve ser validada. Primeiramente, verifica-se o modo e o PID recebido com a mensagem de requisição. Após esse procedimento, será realizada a validação dos valores recebidos que devem ser hexadecimais, ou seja, estar contido entre o intervalo 0-9 e A-F. Nos dois casos, na ocorrência de algum erro de validação, uma nova requisição é enviada e sujeita a nova verificação.

Após a validação dos dados, o valor hexadecimal é convertido para decimal e aplicado na equação correspondente com a variável de interesse. Assim, o valor é salvo na variável, e o algoritmo segue para aquisição de novas variáveis distintas. A Figura 3.6 mostra o algoritmo para leitura e validação dos dados.

Com a integração do software e hardware, foram feitos testes em laboratório para validação do sistema de aquisição de dados. Os procedimentos realizados para os testes e validação das leituras serão apresentados na seção a seguir.

FIGURA 3.6: Diagrama esquemático da etapa de leitura e validação dos dados



FONTE: Próprio Autor

### 3.4 Validação do Software

#### 3.4.1 Teste FTP-75

Foi realizada uma série de testes de ciclo padrão FTP-75 e HWFET no laboratório do Campus CETEC com avaliação de consumo de combustível e emissões de particulado, por meio de equipamento dedicado e controlado, juntamente com aquisição de dados via OBD-II pelo sistema desenvolvido. O veículo utilizado para o estudo foi o Fiat Argo 1.0, três cilindros, Figura 3.7.

FIGURA 3.7: Teste FTP-75 Campus CETEC Fiat Argo 1.0 3 Cilindros.

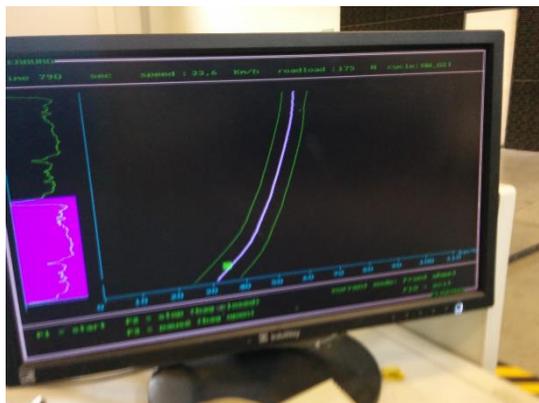


FONTE: FCA, 2018

Para a realização do teste, o condutor bem treinado deve seguir o perfil de velocidades indicado pelo teste, mostrado no Gráfico 2.1 da sessão anterior. A fim de assegurar a manutenção da velocidade exigida pelo teste, a mesma é limitada por faixas de tolerância de aproximadamente 5km/h (Figura 3.8). Desta forma, se caso o motorista não seguir a faixa de tolerância indicada pelo teste, o mesmo pode não ser validado.

A fim de identificar a influência do motorista, mesmo limitado pela faixa de tolerância de indicada pelo teste, foram realizados quatro testes FTP-75 seguindo a sugestão de trocas de marchas definida pelo Gear Shift Indicator (GSI) presente, com padrão de trocas de marchas definidos pela FCA (Figura 3.9(a)), e quatro testes FTP-75 onde as trocas de marchas foram definidas a critério do motorista, quando este sentir a necessidade da troca.

FIGURA 3.8: Perfil de velocidade, e faixa de tolerância, a ser seguido pelo condutor durante o teste



FONTE: FCA, 2018

Com esse objetivo, e de forma a garantir a execução correta do procedimento, nenhuma informação de troca de marchas foi mostrada na tela principal

do teste (Figura 3.8), durante os dois procedimentos. Na segunda parte, as informações do GSI foram tapadas, de forma a não influenciar as atitudes do motorista, conforme visto na Figura 3.9(b).

FIGURA 3.9: Procedimentos para os Testes: (a) Painel do Carro com GSI disponível; (b) Painel do Carro com GSI tapado.



FONTE: FCA, 2018

Os testes FTP-75 no Campus CETEC são realizados em consonância com a norma NBR6601:2012 (ABNT, 2012) que determina hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento. Ao longo do teste, os gases são coletados e enviados para bolsas de gás, para serem analisados por um equipamento analítico, conforme descrito pela norma. O ambiente do teste também é controlado em temperatura (entre 20°C e 30°C) e umidade (entre 30% e 70%). O dinamômetro de chassi possui unidade de absorção de potência, para simular as condições de carga do veículo em pista, e um conjunto de inércia para simular as condições inerciais do veículo, previamente informados pelo fabricante.

Após os testes, os dados de consumo e emissões foram coletados e calculados valores de autonomia de combustível e massa de gases e particulados. Ao mesmo tempo, dados veiculares foram coletados pelo sistema de aquisição construído, os quais foram gravados para pós processamento.

Na próxima sessão serão apresentados métodos para estimar consumo de combustível e emissões de gases por meio dos dados coletados pela porta OBD-II do veículo. As estimativas serão comparadas com os valores obtidos pelos testes FTP-75 realizados a fim de validar a proposta.

### 3.4.2 Estimativa de consumo de combustível e emissões

A norma SAE J1979, que define os códigos hexadecimais para cada variável veicular que pode ser obtida pela porta OBD-II, também define dois parâmetros que podem ser utilizados para a estimativa de consumo de combustível instantâneo do veículo.

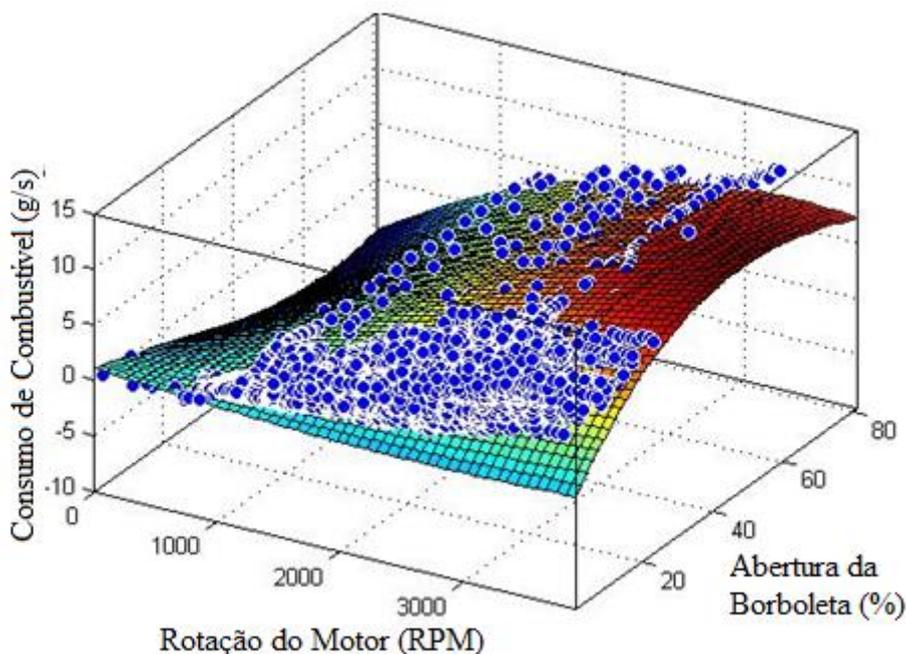
O parâmetro identificador (PID) 5E define o fluxo de combustível, em litro por hora, instantâneo que o veículo está consumindo. Entretanto, alguns parâmetros definidos pela norma SAE J1979 não são obrigatórios, e também necessitam de um sensoriamento dedicado para que este dado esteja disponível na rede CAN. Para o caso estudado, conforme Tabela 3.2, esse parâmetro não se encontra disponível e, portanto, não teria como obter uma resposta rápida e menos custosa, em termos de processamento, para obter tal informação.

Outro parâmetro, que poderia ser utilizado, neste caso é o parâmetro 2F, que define o nível do tanque de combustível. Esse parâmetro se encontra disponível, entretanto não é um parâmetro de grande flutuação para se obter informações de um consumo instantâneo. Utilizando-se desse parâmetro, somente se poderia obter informações acerca de um consumo médio, conforme variação da variável e com informações acerca da distância percorrida no decorrer dessa variação.

Outros dois dados importantes, como fluxo de ar e razão ar-combustível, PIDs 10 e 44, respectivamente, também não estão disponíveis, conforme Tabela 3.2, tornando-se necessária a avaliação dos sensores de oxigênio e corte de combustível, e sensor MAP, que acrescentaria variáveis a serem lidas em tempo real pelo software, aumentando o tempo de processamento.

A fim de se evitar a necessidade de monitoramento de vários parâmetros e consequentes problemas de sincronia e velocidade de processamento do software, foram utilizadas as informações dos mapas de calibração, e realizado o mapa com informações de rotação do motor e percentual de abertura da válvula borboleta e sua influência no consumo de combustível. Desta forma, foi ajustada uma superfície para representação dessas variáveis, mostrada no Gráfico 3.1, assim como proposto por Lee et al., 2011.

GRÁFICO 3.1: Ajuste de superfície para representar o consumo de combustível em função da rotação do motor e percentual de abertura da válvula borboleta



FONTE: MATLAB, 2009. Próprio Autor

O ajuste da curva define uma equação para representar o consumo de combustível em função da rotação do motor e percentual de abertura da válvula borboleta, apresentada na equação 3.2.

$$\begin{aligned}
 fuel\left(\frac{g}{s}\right) = & 1.193 - 0.001176X - 0.09133Y + 2.079e^{-7}X^2 \\
 & + 0.0002083X * Y - 0.001605Y^2 - 1.548e^{-8}X^2 * Y \quad (3.2) \\
 & - 1.317e^{-6}X * Y^2 + 2.321e^{-5}Y^3
 \end{aligned}$$

onde  $X$  representa a rotação do motor e  $Y$  a abertura percentual da borboleta. Segundo o software utilizado para o ajuste da superfície, os coeficientes foram gerados com índice de confiança de 95%.

Alternativamente, uma vez que se tem informações da pressão do ar de entrada, pelo sensor MAP, temperatura do ar de entrada, tipo de combustível e tamanho do motor, pode-se calcular o fluxo de ar por meio do método da densidade da velocidade (MESEGUER et al., 2015), conforme Equação 3.3.

$$MAF[g/s] = \left(\frac{RPM}{60}\right) x \left(\frac{MAP[kPa]}{IAT[K]}\right) x Vol_{eff}[\%] x \left(\frac{dxMM_{ar}[g/mol]}{R[J/K * mol]}\right) \quad (3.3)$$

onde  $MAF$  é o fluxo de ar em gramas por segundo,  $MAP$  é a pressão do ar de entrada em kPa,  $IAT$  é a temperatura do ar de entrada em Kelvin,  $Vol_{eff}$  é a eficiência volumétrica,  $d$  o deslocamento do cilindro,  $MM_{ar}$  é a massa molar do ar, e  $R$  a constante dos gases ideais. Sabendo-se a massa de ar e a razão ar-combustível, estima-se, então a massa de combustível conforme Equação 3.4.

$$MF[g/s] = \frac{MAF[g/s]}{AF_{st}} \quad (3.4)$$

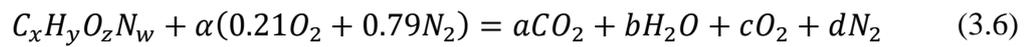
onde  $MF$  é a massa de combustível, em gramas por segundo e  $AF_{st}$  é a razão ar-combustível estequiométrica, determinada a partir da equação de combustão, para o combustível utilizado.

Uma vez que a central eletrônica, juntamente com os sensores dedicados, tende a realizar modificações no sistema a fim de buscar um valor fixo para a razão ar-combustível, é plausível que o resultado das Equações 3.3 e 3.4 se aproximam do modelo real. Entretanto, Kang et al., 2015, sugere uma correção para esse valor, utilizando informações do ajuste de combustível, a curto e longo prazo (PIDs 06 e 07). Assim, a razão ar-combustível real será

$$AF_{real} = \frac{AF_{st}}{(1 + LTFT) * (1 + STFT)} \quad (3.5)$$

Com o resultado da Equação 3.5, substitui-se na Equação 3.4 obtendo-se então o valor do fluxo mássico de combustível. Com informações a respeito da densidade do combustível, pode-se obter o fluxo volumétrico de combustível e, conseqüentemente, a autonomia do veículo.

Valores correspondentes às emissões veiculares podem ser estimados conforme descrito por Ortenzi e Costagliola, 2010. Uma vez tendo informações do fluxo mássico de combustível, utiliza-se a equação de combustão para obtenção das emissões de gases, conforme equação 3.6



onde  $\alpha$  é a razão ar-combustível, e os valores  $x, y, z, w, a, b, c$  e  $d$  são dependentes do tipo de combustível utilizado para a realização do balanceamento da equação. A avaliação dos outros tipos de gases, CO, NO<sub>x</sub> e hidrocarbonetos não é simples e, portanto, não será o foco do trabalho.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados encontrados referentes à simulação e implementação do algoritmo de troca de marchas e testes FTP-75. Também serão apresentadas discussões acerca do sistema desenvolvido para coleta de dados veiculares, seu comportamento durante os ensaios e o grau de confiança. Para isso, serão apresentados fatores encontrados que podem contribuir para a validação do sistema utilizado. Ao final, serão discutidos possíveis indicadores que influenciam diretamente no consumo de combustível, os quais possam ser utilizados para as sugestões de melhoria de condução para o usuário.

### 4.1 Dados de calibração - ciclo FTP-75

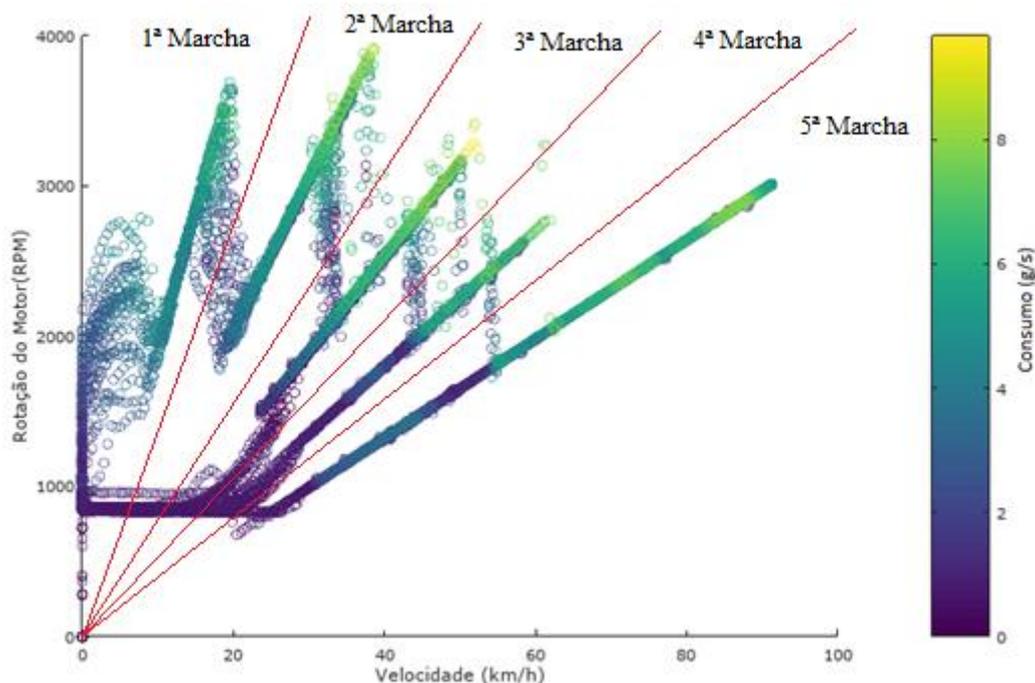
A fim de obter relações entre as variáveis relativas à dinâmica do veículo (disponibilizadas pela centrais eletrônicas) e consumo de combustível, foi realizado no laboratório da empresa, um teste FTP-75 em dinamômetro com aquisição de dados diretamente da rede CAN por meio de um equipamento dedicado. Com acesso direto à rede CAN, essas variáveis puderam ser obtidas com frequências de até 250Hz que é bastante superior à alcançada pela porta OBD-II do veículo, além do número elevado de variáveis também disponibilizada na rede.

Apesar da velocidade de troca de informações que o acesso direto à rede possui, esse método permite falhas na segurança dos dados e, logo, podendo prejudicar o funcionamento esperado do veículo e comprometendo a segurança do ocupante. O objetivo de se buscar novas formas de aquisição de dados veiculares sem a necessidade de se acessar diretamente a rede CAN visa, também, a segurança veicular. Apesar das redes veiculares atestarem segurança de falhas técnicas, essas redes são totalmente desprotegidas a ataques maliciosos. Com o advento dos sistemas de multimídia e integração de redes sem fio, com acesso à internet, os riscos à segurança aos ocupantes começam a obter relevância (WOLF; WEIMERSKIRCH; PAAR, 2004).

Para os testes FTP-75, foram coletadas variáveis que pudessem ser observadas e coletadas pela porta OBD-II, como rotação do motor, velocidade, posição da válvula borboleta, carga (eficiência volumétrica) e torque. Uma vez que muitos trabalhos indicam a grande influência das trocas de marcha no consumo de combustível

(ARAÚJO et al., 2012; SENTERNOVEM, 2005b; VAEZIPOUR; RAKOTONIRAINY; HAWORTH, 2015b), foi necessário a identificação das mesmas a partir da relação entre rotação do motor e velocidade do veículo (Gráfico 4.1). As variáveis coletadas pela porta OBD-II, assim como a construção do equipamento para leitura dos dados, serão explicadas em uma sessão posterior.

GRÁFICO 4.1: Relação de transmissão (velocidade/rotação) em relação ao consumo de combustível



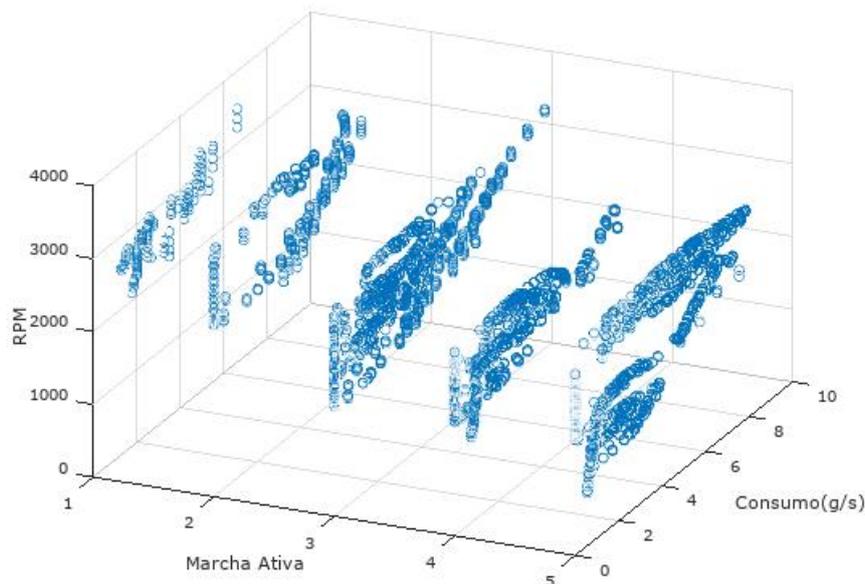
FONTE: GNU Octave. Próprio Autor

No Gráfico 4.1 é apresentada a relação de consumo de combustível ponto a ponto, representada pela barra de cores. Desta forma, é possível visualizar o aumento de consumo instantâneo de combustível com a rotação do motor e, logo, velocidade, para uma determinada marcha ativa. Com isso, pode-se observar maiores índices de consumo instantâneo de combustível para a terceira marcha a partir de 50km/h.

Para melhor observar a relação entre consumo instantâneo e a rotação do motor, foram feitos os mapas dessas variáveis, mostrados no Gráfico 4.2. Uma vez que a relação rotação do motor *versus* velocidade será aproximadamente constante para uma dada marcha, os mapas de rotação e velocidade serão sempre semelhantes de modo inverso, ou seja, para baixas velocidades, necessita-se de maiores rotações do motor para a mudança de estado do veículo, e menores rotações para altas velocidades por conta de sua inércia. Entretanto, o Gráfico 4.2 não apresenta, mesmo realizando a

separação de marchas, relação conclusiva e de fácil observância com o consumo instantâneo. Uma das justificativas pode representar as variações de mistura rica e pobre ao longo de seu funcionamento.

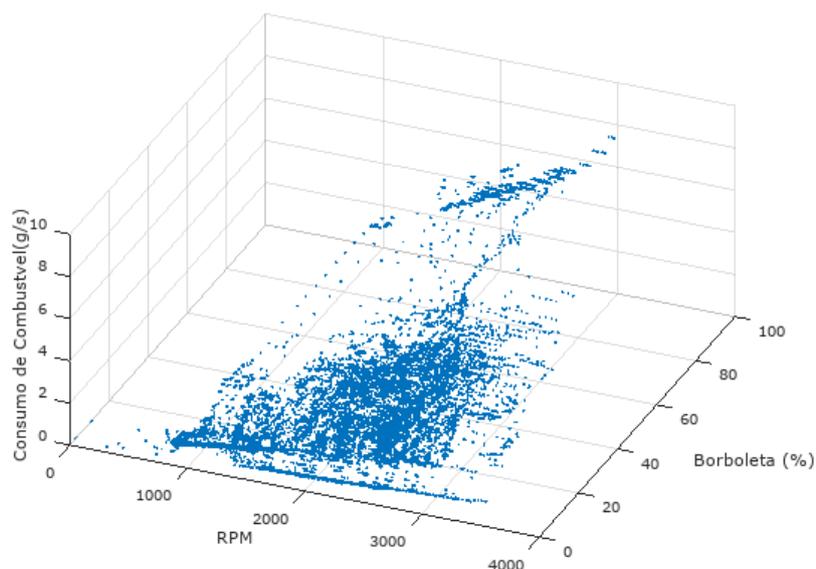
GRÁFICO 4.2: Relação entre as marchas ativas e consumo do veículo em comparação a rotação do motor



FONTE: GNU Octave. Próprio Autor

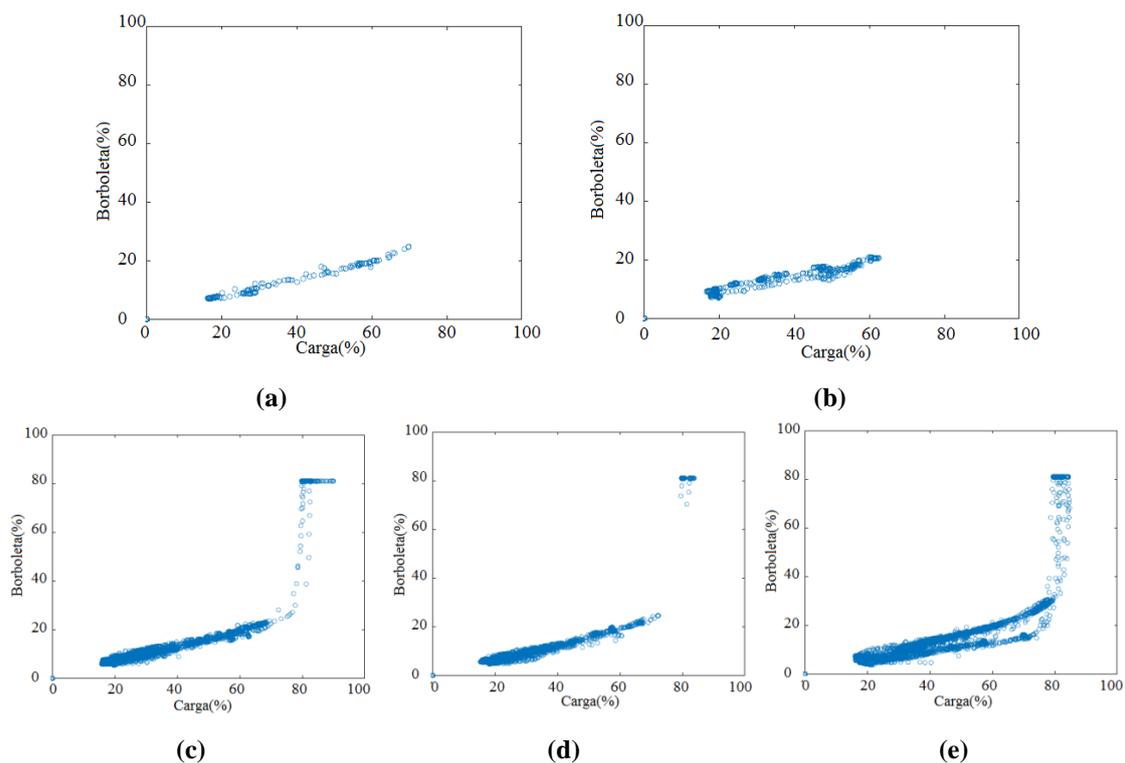
Uma vez que um dos objetivos deste trabalho é determinar parâmetros que auxiliem nas tomadas de decisão relacionando o comportamento do motorista com a eficiência energética do veículo, um destes parâmetros é determinado pela posição do pedal de aceleração, que se relaciona com a abertura da válvula borboleta (LEE et al., 2011). Esse parâmetro está diretamente relacionado com o comportamento do motorista, uma vez que este determina a demanda de potência desejada pelo condutor. Assim, se torna necessária uma análise de seu desempenho em relação ao consumo de combustível. Uma vez que não se obteve relação direta entre rpm e consumo, e variações do pedal de aceleração demandam por uma mudança em rotação e velocidade, foi realizado um gráfico para análise de tal comportamento, mostrado no Gráfico 4.3, e em relação à carga (eficiência volumétrica) que a abertura da borboleta acarreta ao sistema, mostrado no Gráfico 4.4 em cada marcha.

GRÁFICO 4.3: Relação entre rotação do motor, acionamento do pedal e consumo instantâneo



FONTE: GNU Octave. Próprio Autor

GRÁFICO 4.4: Relação entre carga e posição da borboleta para as marchas (a) primeira, (b) segunda, (c) terceira, (d) quarta e (e) quinta



FONTE: GNU Octave. Próprio Autor

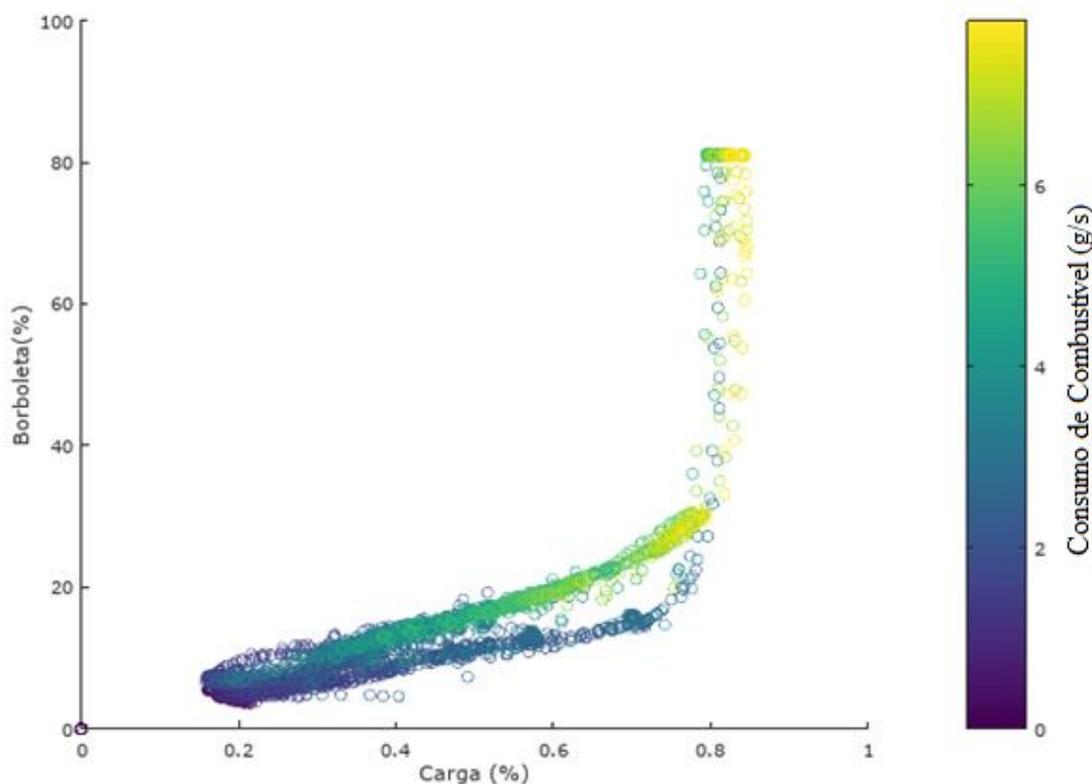
Os Gráficos 4.3 e 4.4 apresentados mostram um comportamento interessante a respeito da posição da válvula borboleta. Após a posição de 25% de abertura,

aproximadamente, seu aumento não proporciona melhoras significativas em eficiência volumétrica, e em rotação do motor. O primeiro pode ser justificado por turbulências na abertura da válvula e pressão de vapor do combustível na câmara (HEYWOOD, 1988), não acarretando em um aumento significativo de entrada de ar ao cilindro, permanecendo no máximo em 80%, aproximadamente. Já com relação à rotação, uma vez que o teste realizado define velocidades a serem seguidas, pode se julgar que, permanecendo em posições relativamente maiores que 30% de abertura, eventualmente aumentaria a rotação do motor.

Assim como realizado no Gráfico 3.10, os dados apresentados no Gráfico 4.3 podem ser aproximados por uma superfície. Entretanto, a parte dos dados que mais definem a superfície se encontra em regiões fora de condições ideais de operação do motor, para posições da válvula borboleta maiores que 30%. Outro fator que corrobora com tal afirmação é a diferença de densidade dos dados em regiões maiores e menores que esse valor. Contudo, a região cuja massa de dados é maior não é suficiente para a definição de relações diretas entre rotação do motor e abertura da válvula borboleta. Logo, a estimativa de consumo de combustível por análise estrita dessas variáveis pode não ser correta. Os resultados obtidos por esse método serão discutidos posteriormente.

A separação das marchas apresentadas nos Gráficos 4.4 (a) a (e) mostra que a relação de eficiência volumétrica com a posição da válvula borboleta é puramente devido a características estruturais e geométricas das câmaras de combustão e conjunto de válvulas. Apesar da primeira e segunda marcha possuírem poucos dados para maiores aberturas da válvula borboleta, as curvas para cada marcha se sobrepõem, exceto para a ramificação inferior presente na quinta marcha, que necessita de melhor investigação. Para este caso, o Gráfico 4.5 mostra a relação de consumo de combustível nessa relação de transmissão, indicando menores valores de consumo para o ramo inferior, podendo estar relacionada à utilização dessa marcha para baixas velocidades do veículo e rotações do motor, posteriormente seguido de reduções de marcha.

GRÁFICO 4.5: Relação entre carga e posição da borboleta para a quinta marcha, e consumo instantâneo



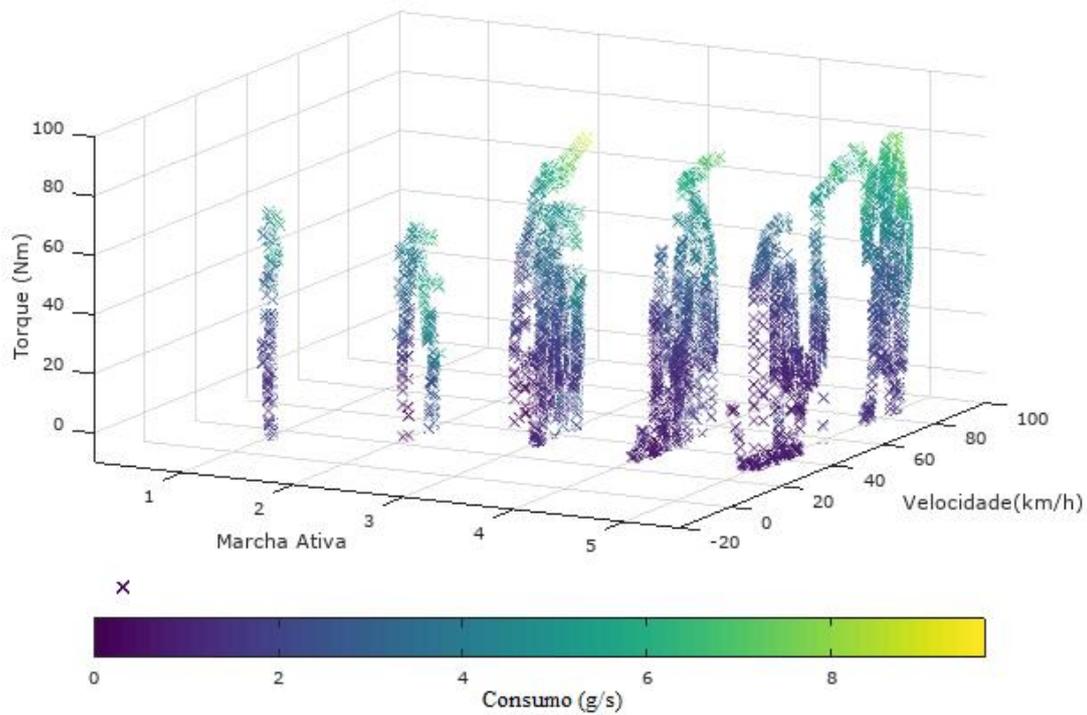
FONTE: GNU Octave. Próprio Autor

Outra variável a ser analisada é o torque. Os Gráficos 4.6 e 4.7 relacionam essa variável com a velocidade do veículo e rotação do motor, respectivamente. Essa análise deve ser feita separando-se as marchas e verificando-se o seu comportamento com o aumento da velocidade e da rotação. Observa-se para cada marcha ativa, portanto, picos de torque com significativo aumento em consumo específico. Logo, a partir de certas rotações e velocidades, não apresentará ganhos em torque ao veículo, resultando em desperdício de energia. Esse parâmetro pode ser utilizado, por exemplo, para sugestões de trocas de marchas a fim de se evitar tais perdas em eficiência energética.

Assim como mencionado anteriormente, a quinta marcha apresenta uma divisão entre os dados. Como mostrado, para velocidades entre 20 e 40km/h foram observados menores valores em consumo que velocidades superiores, correlacionando com o ramo inferior mostrado no Gráfico 4.5. Uma vez que o teste FTP-75 estabelece um perfil de velocidade definido, essas condições de velocidade e rotação do motor somente foram atingidas em desacelerações até condições de parada, onde a marcha não foi reduzida. Além disso, o baixo consumo apresentado nessa região pode indicar

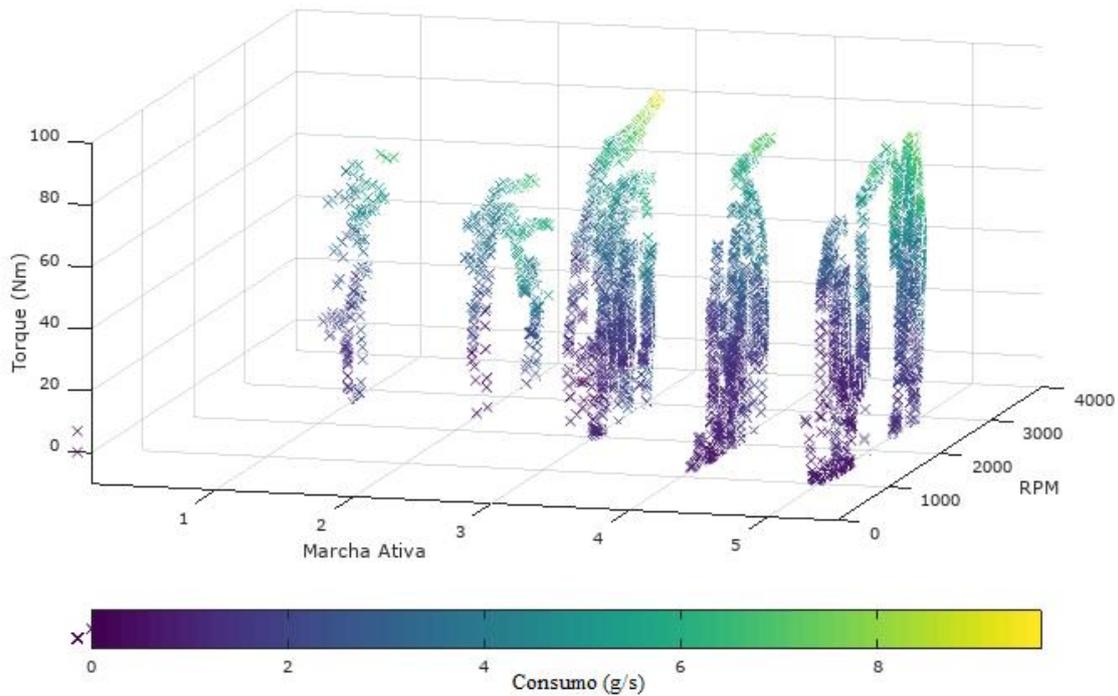
condições de mistura pobre, contendo maior quantidade de ar na mistura

GRÁFICO 4.6: Relação entre torque e velocidade do veículo, para cada marcha ativa



FONTE: GNU Octave. Próprio Autor

GRÁFICO 4.7: Relação entre torque e rotação do motor, para cada marcha ativa



FONTE: GNU Octave. Próprio Autor

Com base nos mapas apresentados, será discutido na sessão seguinte um algoritmo de trocas de marcha, com utilização dos dados provenientes da porta OBD-II do veículo. Esse algoritmo além de sugerir mudanças de marcha para que o usuário possa disfrutar de um melhor aproveitamento de energia de seu veículo, ele também pode ser usado para análises de desempenho, ou seja, para avaliar a condução do motorista conforme sugerido. Assim, o sistema pode criar padrões de mensagens e informações ao motorista, em um feedback mais amplo, da forma que o mesmo está conduzindo, além de mostrar para o mesmo que, se as sugestões fossem obedecidas, poderia haver um ganho em eficiência energética ao veículo e, logo, econômico ao usuário.

#### **4.2 Simulação do algoritmo de troca de marchas via OBD-II**

Nesta seção, será apresentando uma simulação do algoritmo de trocas de marcha proposto (com monitoramento de variáveis que podem ser lidos pela porta OBD-II) realizado a partir de um teste de rua já realizado. Desta forma, apesar de não poder ser avaliado as consequências da estratégia em questões de consumo e emissões, poderão ser verificados os momentos os quais seria sugerido uma troca de marcha em tempo real.

Em um veículo que possui transmissão manual, um dos principais fatores que afetam a eficiência da direção, no que diz respeito a consumo de combustível e emissões, é a eficácia das trocas de marcha (ARAÚJO et al., 2012; BARBÉ; BOY, 2006; HARI et al., 2012; MUNOZ-ORGANERO; MAGANA, 2013). Desta forma, o sistema de análise proposto deve identificar pontos de troca mais eficientes, sugerindo, ao condutor, instantes mais oportunos para que essa mudança ocorra.

Apesar do veículo utilizado nos ensaios já possuir uma estratégia de trocas de marcha integrada ao próprio sistema do veículo, a identificação desses pontos pelo sistema proposto se torna necessária para uma possível avaliação do perfil do motorista com base nessa ação. Assim, o software poderia estimar o quão longe do ideal, em termos da eficiência energética, o veículo foi conduzido, indicando ao condutor as melhorias que a direção sugerida pode lhe proporcionar.

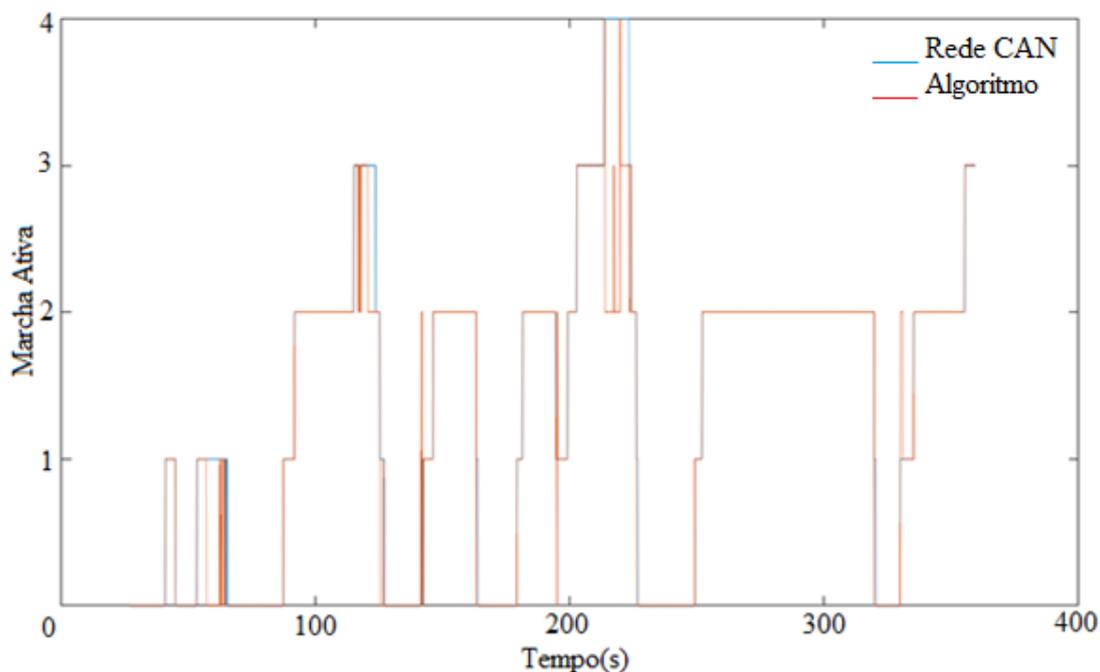
Para que isso ocorra, o algoritmo proposto por Blagojević et al., 2012, apresentado no capítulo anterior, foi aplicado a dados de ensaio de rua fornecidos pela empresa, coletados diretamente da rede CAN. Verificou-se, porém a necessidade de se

alterar limites de velocidades e rotações impostos pelo algoritmo original.

De acordo com o Gráfico 4.7, a primeira marcha possui pico de torque em, aproximadamente, 3000rpm, indicado por D2 na Figura 3.2. Originalmente esse limite era considerado como 3500 rpm. Entretanto, após 3000rpm na primeira marcha, para o veículo estudado, o aumento da rotação não representará ganhos no aproveitamento da energia da queima de combustível em potência. Da mesma forma, diferentemente do limite original de 50km/h, a segunda marcha possui pico de torque inferior a 40km/h, Gráfico 4.6, logo não sendo indicada para essa velocidade (D9, Figura 3.2). Por fim, após 80km/h, a quarta marcha quase não está presente, com pico de torque a uma velocidade inferior. Logo, diminuiu-se o limite para utilização estrita da quinta marcha de 100km/h para 80km/h.

Assim, o Gráfico 4.8 mostra a comparação dos dados de marcha, relativos ao dado direto disponibilizado para o teste de rua, e a possível atuação do algoritmo em tempo real.

GRÁFICO 4.8: Comparação das marchas atuantes no teste de rua com as sugestões propostas pelo algoritmo



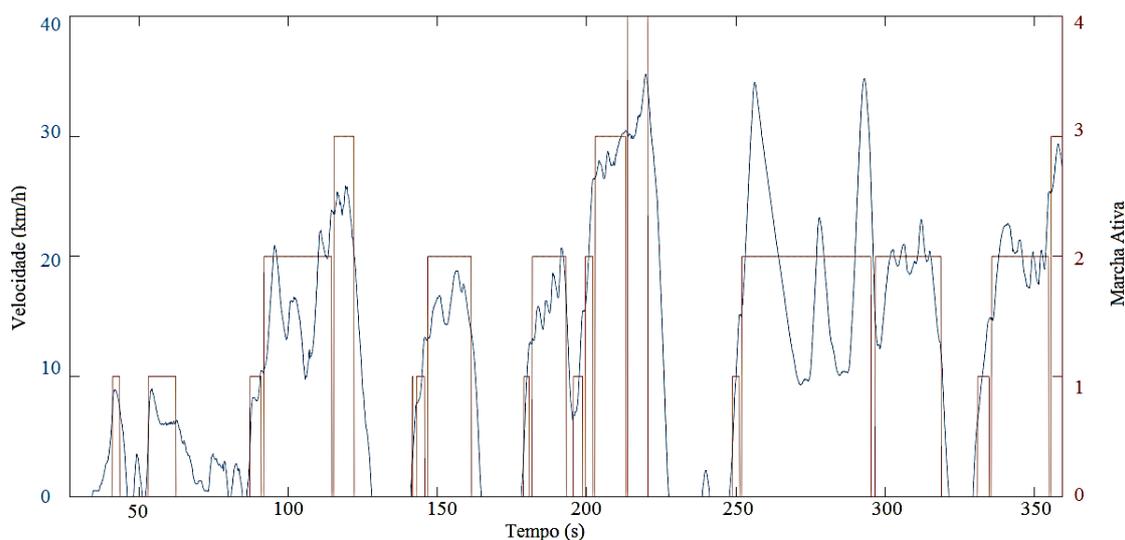
FONTE: GNU Octave. Próprio Autor

No Gráfico 4.8, em sua maioria, não apresentou discordância entre as marchas atuantes durante o teste, coletadas diretamente da rede CAN, e as sugestões propostas pelo algoritmo. Logo, pode-se concluir que a identificação das marchas, por

meio da relação de transmissão (rotação do motor *versus* velocidade do veículo) apresentada no Gráfico 4.1, obteve resultado satisfatório. As diferenças visíveis, porém, indicam a sugestão de troca pelo algoritmo que, uma vez que o veículo não “obedece” a sugestão, rapidamente retorna à condição anterior. Isso se deve pelo fato do veículo ter atingido novamente condições factíveis com a marcha ativa, podendo ser melhor explorado em testes que extrapolem os limites sugeridos para cada marcha.

Um ponto interessante ocorre próximo a 210 segundos, onde o condutor realiza um “up shift” e o algoritmo sugere o inverso. Nesse caso, como mostrado no Gráfico 4.9, ocorre uma ligeira queda na velocidade após a troca de marcha. Tal queda indica que as condições ótimas estariam na marcha imediatamente inferior, segundo o algoritmo. Seguido de um gradiente de velocidade elevado, novamente o algoritmo sugere a troca de marchas para a condição imediatamente superior e sua subsequente, até a desaceleração.

GRÁFICO 4.9: Dados de velocidade e marchas ativas para o teste de rua



FONTE: GNU Octave. Próprio Autor

Pouca informação foi fornecida a respeito do teste de rua pela empresa, da rota percorrida, o que impossibilita uma avaliação mais aprofundada. Por exemplo, o gradiente de velocidade mostrado próximo a 250 segundos no Gráfico 4.9 poderia indicar a utilização de marchas superiores, assim como utilizado próximo a 210 segundos. Entretanto o algoritmo também não sugeriu a mudança de marchas neste momento, o que pode ser um indício de um declive, com pedal de aceleração não acionado e velocidades baixas, onde o algoritmo não realiza a sugestão de trocas

(Determinação D3 da Figura 3.3).

Outro parâmetro não disponível foi presença ou não do GSI interno do veículo, o que dificulta a sua comparação com o algoritmo analisado. Desta forma, testes específicos contendo as duas estratégias devem ser analisados, a fim de se validar a utilização do algoritmo no sistema proposto, e será discutido em sessões posteriores.

A partir das análises realizadas dos Gráficos 4.8 e 4.9, e considerando que o teste fora realizado por um motorista treinado, o teste serve como ponto de partida para avaliação do algoritmo. Logo o mesmo deve ser implementado ao sistema proposto para novas análises.

### **4.3 Impactos do uso do GSI em consumo e emissões**

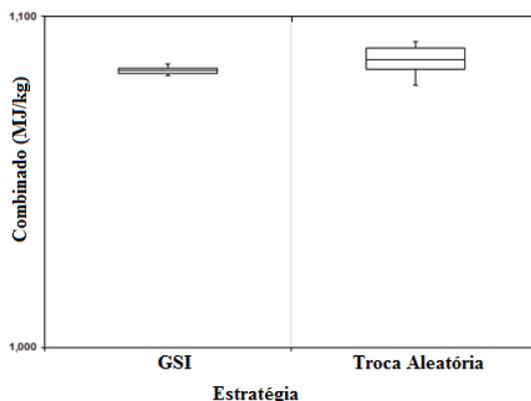
A fim de se avaliar o uso e impacto do GSI em relação ao consumo de combustível e emissões, foram realizados testes FTP-75 no laboratório de emissões veiculares do Campus CETEC. Desta forma, foram realizados testes conforme as três estratégias: com a utilização do GSI disponível no veículo (“shift point FCA”); com trocas de marchas aleatórias, conforme descrito no capítulo anterior; e com a implementação de um GSI alternativo, inserido no sistema de aquisição de dados. Para testar a validade do algoritmo de trocas de marchas proposto para o sistema, um dos ensaios foi realizado com a utilização dessa estratégia, com o intuito de validar a possível utilização do mesmo e verificar pontos de melhoria com o uso de um teste em tempo real.

#### **4.3.1 GSI disponível no veículo**

Com a realização dos testes FTP-75 em laboratório controlado e que possui equipamento dedicado para análise de consumo e emissões, foram realizados uma série de testes utilizando as sugestões do GSI disponível no veículo, e outra série de testes sem informações acerca das trocas de marcha. Em cada estratégia, foi retirado o resultado mais discrepante para que não influencie na média dos resultados.

Com os dados, foi analisado a repetibilidade do sistema, mostrado no Gráfico 4.10.

GRÁFICO 4.10: Índice de repetibilidade dos testes para as duas estratégias

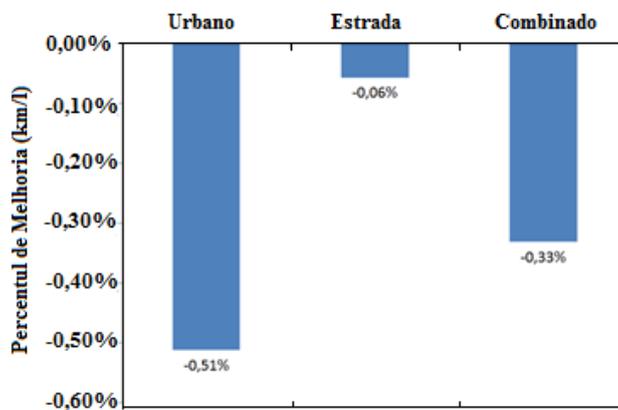


FONTE: FCA, 2018

O índice de repetibilidade representa a variação dos resultados obtidos provocadas pelas condições de ensaio. A diferença entre os casos GSI e Troca Aleatória se deve ao fato de, sem informações de trocas de marcha, o motorista não tem controle do momento exato para essa ação, mesmo realizando o mesmo trajeto e com mesmas condições de ensaio. Se o resultado for extrapolado para condições reais, essa diferença tende a ser bem maior devido a vários fatores que influenciariam nessa dispersão como humor, tráfego, condições da rodovia, entre outros. Tal fato não ocorre com os resultados utilizando o GSI do veículo, possuindo maior controle dos resultados.

No Gráfico 4.11, estão apresentados os índices relativos da autonomia do veículo, em comparação com os dois tipos de ensaios, com e sem GSI, para os testes FTP-75 e HWFET, e o resultado combinado.

GRÁFICO 4.11: Consumo de combustível (km/l) em comparação com ciclos FTP-75, Estrada e Combinado, para os dois ensaios.



FONTE: FCA, 2018

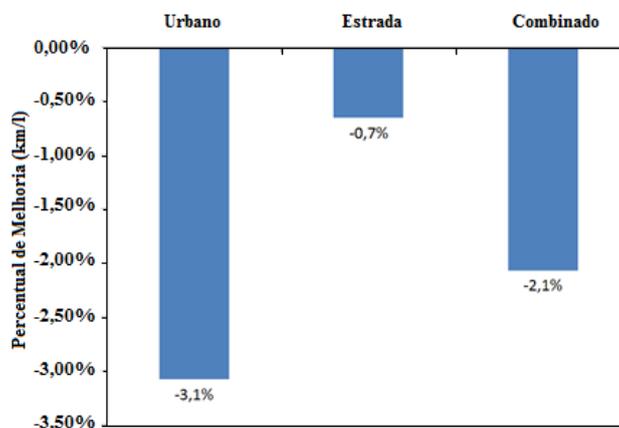
Do Gráfico 4.11 percebe-se uma pequena diferença para o caso do teste Estrada. Entretanto, como se foram realizados testes em diferentes condições de trocas de marcha e, neste teste, o número de trocas de marcha é bastante inferior, se comparado com as Fases 1, 2 e 3 do teste FTP-75, conclui-se que não houve diferença significativa em relação ao consumo. Logo, o resultado para o consumo combinado (FTP-75 + HWFET) foi bastante afetado.

O resultado de 0,51% de diferença em consumo para o ciclo Urbano (Fases 1, 2 e 3 do ciclo FTP-75). Este é um resultado médio entre os três ensaios, com a mesma configuração, e se levar em conta que o condutor do teste, além de ser um motorista bem treinado, já tem o costume de realizar testes com esse veículo na configuração do GSI. Em outras palavras, já é de conhecimento do motorista o melhor momento de se trocar marchas, para esse veículo, para o mesmo tipo de testes.

Agora, tendo como base o caso de maior consumo, na configuração sem GSI, que tinha sido excluída para a média do caso anterior, o resultado é bastante diferente, como mostrado no Gráfico 4.12. Neste caso, até mesmo o ciclo a altas velocidades, teste Estrada, teve perda significativa em autonomia, sendo maior que o caso urbano discutido anteriormente. Ainda assim, a perda em consumo para o teste Estrada é bem inferior que o teste Urbano.

Assim, pode-se concluir que, para um motorista bem treinado, a diferença em consumo de combustível, para um teste de ciclo padrão, varia entre 0,51-3,10% para um caso exclusivamente Urbano, 0,06-0,70% para o Estrada, e 0,33-2,10% no caso combinado.

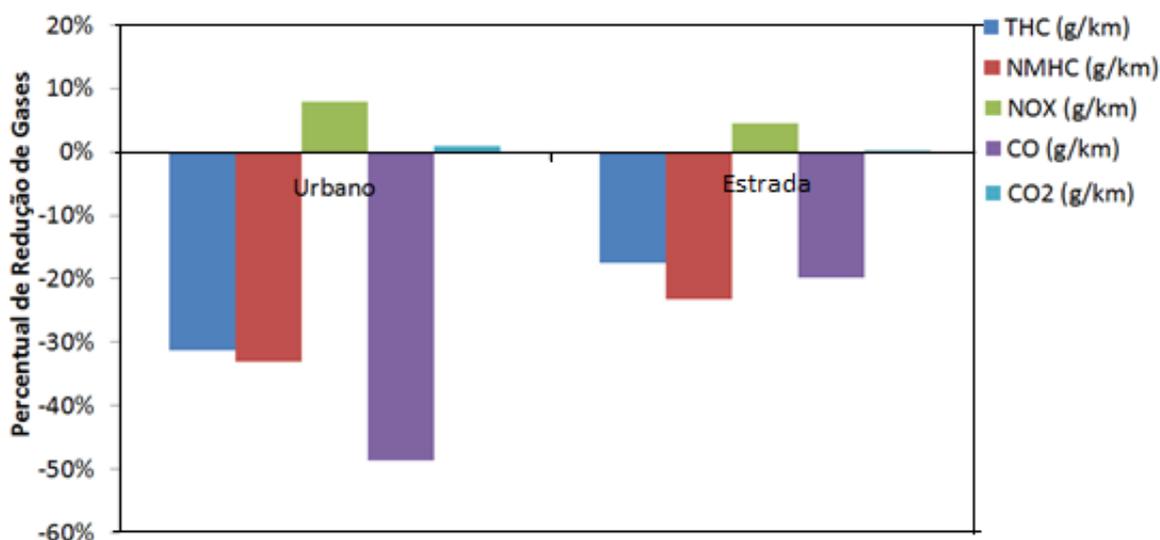
GRÁFICO 4.12: Consumo de combustível (km/l) em comparação com ciclos FTP-75, Estrada e Combinado, para o caso de maior consumo.



FONTE: FCA, 2018

Analisando as relações entre as emissões de gases na atmosfera, os resultados médios para os ensaios nas duas configurações são apresentados no Gráfico 4.13, representando o resultado obtido para os testes sem a utilização do GSI, em relação aos testes com o GSI.

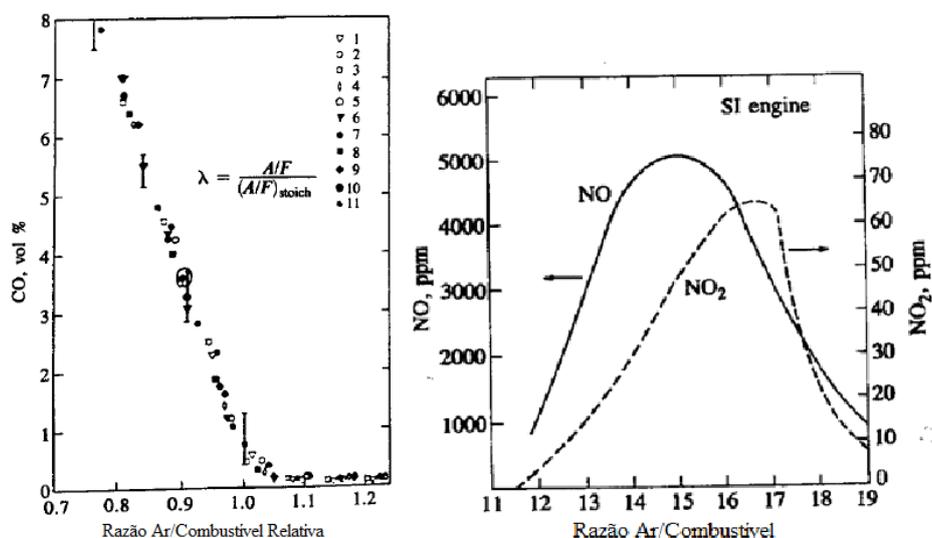
GRÁFICO 4.13: Emissões dos Gases THC, CO, NOx, NMHC e CO<sub>2</sub> em comparação com duas configurações, com e sem GSI, para os testes FTP-75 e HW.



FONTE: FCA, 2018

Apesar da redução em emissões dos gases hidrocarbonetos totais e não metálicos (THC e NMHC) e CO, houve aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> e NOx, nos dois casos, Urbano e Estrada, quando não utilizado o GSI. A grande diferença para os gases THC, NMHC e CO pode ser explicada pela grande queda no nível de emissões quando próximo à mistura estequiométrica da razão ar combustível ( $\lambda = 1$ ), seguido da pequena diferença para o NOx, próximo do mesmo valor para  $\lambda$ , Figura 4.1.

FIGURA 4.1: Relação entre emissões CO e NOx para concentrações das misturas, para uma dada rotação



Fonte: HEYWOOD, 1988

Entretanto, devido ao efeito do catalizador, os hidrocarbonetos, monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio são transformados em gás carbônico e água. Com isso, em termos das emissões de CO<sub>2</sub>, o ciclo urbano obteve diferença de 1% a menos, quando utilizado o GSI, e sem diferença significativa para o ciclo Estrada. Portanto, ao se aproximar das condições de operação de um teste padrão representa em uma melhora em emissões de CO<sub>2</sub>, o que ajudaria no combate ao efeito estufa.

Considerando somente a troca de marchas como fator relevante para variações de consumo e emissões, por si só, justificaria a integração de câmbios automáticos em todos os veículos, mas adicionando custos de produção, operação, entre outros, e repassando ao consumidor final. A presença do GSI nos veículos da marca é uma solução de baixo custo com garantia de melhoria de performance e diminuição de consumo de combustível, afetando diretamente o consumidor final. Entretanto, mesmo com veículos que possuem tal tecnologia, não é garantia que o consumidor irá seguir tal sugestão.

Tendo em vista um dos objetivos do trabalho como uma maneira de instigar o consumidor a seguir as sugestões para melhoria de performance, pode-se ter como base o preço do combustível. Tendo como base os preços praticados, em Belo Horizonte, em torno de R\$4,69 por litro, o abastecimento de um tanque de 45 litros terá um custo de, aproximadamente, R\$211,50. Logo, tendo em vista o pior cenário encontrado para um condutor cuja condução não siga as sugestões do GSI, sua maneira de dirigir lhe proporciona um gasto de aproximadamente R\$6,50 por tanque.

Novamente, este cálculo somente leva em consideração as perdas por trocas de marcha equivocadas. Assim, se levar em consideração acelerações e desacelerações excessivas, entre outras variáveis que influenciam diretamente no consumo, este custo de direção tende a crescer.

Após análise aprofundada dos resultados e dos dados da OBD-II, poderão ser estudadas outras formas de influenciar o motorista a seguir as sugestões do veículo. Se confirmada o poder da aplicação, a implementação total do sistema na forma mobile será de grande ganho aos usuários, diminuindo gastos diários com seu veículo e ao país, com aumento da oferta de combustível e diminuição de poluentes à atmosfera.

#### 4.3.2 Algoritmo de GSI para o sistema proposto

Após a implementação do algoritmo de trocas de marcha na placa de desenvolvimento, foi realizado um teste FTP-75 e HWFET nas mesmas condições descritas anteriormente, porém seguindo as sugestões provenientes da placa.

Durante a realização dos testes, foram observados erros aleatórios de leitura, o que poderia prejudicar a aplicação do algoritmo, com identificações de marcha errôneas e, conseqüentemente, sugestões equivocadas. Desta forma, foi necessário o acompanhamento das leituras constantemente, comparando-as com o indicado na tela de testes e no painel do veículo. Assim, possíveis sugestões equivocadas não seriam obedecidas, para não prejudicar o andamento do teste. Uma tentativa de filtragem de dados foi capaz de diminuir a incidência de erros de avaliação do algoritmo, mas não excluí-los por completo, e será aprofundada em uma sessão posterior.

Os resultados obtidos em consumo foram analisados em comparação com os resultados de três testes, realizados seguindo o GSI FCA, e estão apresentados na Tabela 4.1 e Gráfico 4.14.

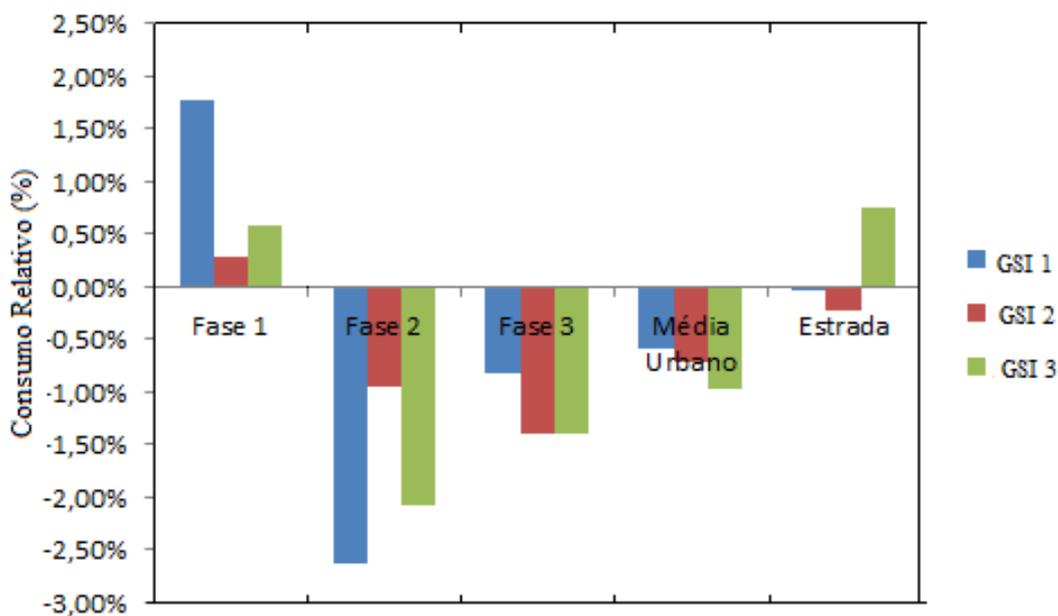
TABELA 4.1

Dados comparativos de autonomia das duas estratégias GSI: FCA e Proposto

Teste	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Média Urbano	Estrada
1	1,78%	-2,63%	-0,83%	-0,58%	-0,04%
2	0,28%	-0,96%	-1,39%	-0,71%	-0,22%
3	0,58%	-2,07%	-1,39%	-0,98%	0,74%

FONTE: FCA, 2018

GRÁFICO 4.14: Dados comparativos de autonomia do GSI FCA com o GSI proposto



FONTE: FCA, 2018

Os dados mostrados na Tabela 4.1 e Gráfico 4.14 indicam resultados piores com relação a consumo de combustível do GSI proposto com o GSI FCA, disponível no veículo. Entretanto, ao se analisar esses resultados com o discutido na sessão anterior para o caso de maior consumo, a utilização do GSI proposto ganha relevância, uma vez que a estratégia obteve valores com diferenças menores que 1,0%, para o caso urbano, em comparação com os 3,0% anteriormente citado.

Já os resultados obtidos pelo ciclo estrada, se analisado a diferença média, neste caso, obtém-se um valor aproximadamente de 0,33%, também bastante inferior ao pior caso, com 0,7%.

Apesar do resultado em consumo do uso do GSI alternativo, implementado em uma placa de desenvolvimento, ainda obter diferenças significativas em comparação com o GSI da empresa, não necessariamente ele deve ser descartado. Ainda, ele pode ser ajustado para que suas diferenças não sejam perceptíveis e implementado em plataformas mobile, por exemplo, ou carregado em um sistema multimídia dedicado, até mesmo como opção “aftermarket” a ser explorado pela empresa.

É de se salientar que a estratégia de GSI pode ser calibrada pela empresa para obter melhores valores em consumo de combustível que a estratégia atual. Entretanto, a mesma assume o compromisso com os níveis de emissões permitidos. Os dados referentes a emissões detalhadas do teste realizado para o GSI alternativo

proposto não foram disponibilizados separadamente, o que inviabiliza uma discussão assertiva acerca dos níveis de emissões para esse teste. Portanto, para se viabilizar a estratégia proposta devem-se ter dados concretos e detalhados dos níveis de emissões para que atendam os requisitos normativos.

A discussão toma maior relevância se forem considerados os valores reais, em conduções reais, e a importância de se motivar os usuários a utilizarem o GSI forma correta, além das sugestões de Eco-driving. Está prevista para 2022 uma nova fase do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) que visa à regulamentação de testes mais rigorosos de Emissões em Condições Reais (ECR) (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2017). Logo, a análise mais profunda dos algoritmos de troca de marchas apresentados em condições reais, assim como obtenção dos níveis de emissões, é de extrema importância para a validação do sistema e justificativa da utilização de uma estratégia de GSI.

Uma vez que a não utilização de estratégias de trocas de marcha obteve resultados piores em consumo, a utilização de um sistema de monitoramento de dados OBD-II, neste caso, surge como opção válida. No entanto, o sistema deve possuir um grau elevado de confiança das leituras dos dados, validado, que não prejudique o próprio sistema.

## **4.4 Validação do sistema de aquisição de dados**

### 4.4.1 Leitura dos dados

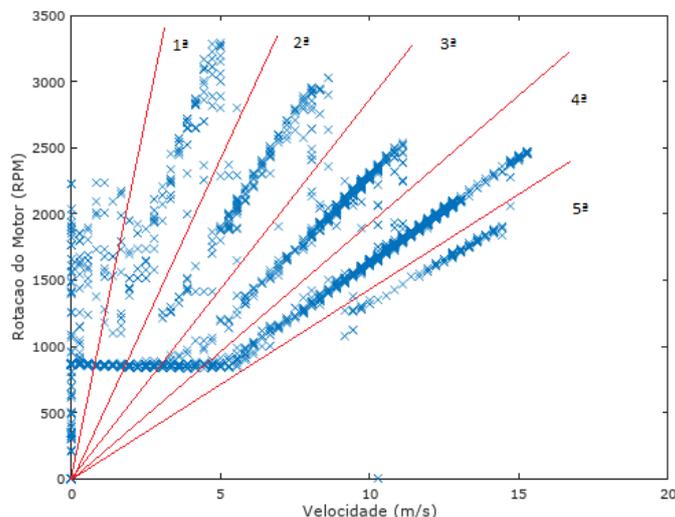
Após a implementação das rotinas de leitura, identificação de marchas e algoritmo de trocas de marchas na placa de desenvolvimento, o protótipo foi levado ao Campus CETEC e avaliado durante os testes FTP-75 e HWFET.

Durante a fase de desenvolvimento, cada parte do código de requisição das variáveis estudadas foi validado separadamente e integrado ao código principal final. Foi escolhida uma frequência de aquisição de 4Hz de forma que pouca informação fosse perdida entre cada leitura e possível de ser coletada sem erros de processamento.

Na primeira etapa de desenvolvimento, foi realizado um teste com coleta de quatro variáveis, as quais são necessárias para o algoritmo de trocas de marchas: rotação do motor, velocidade, posição da borboleta e carga. Após a coleta, os dados de rotação

do motor e velocidade foram analisados para a definição de regiões que indicam a relação de transmissão utilizada, apresentados no Gráfico 4.15.

GRÁFICO 4.15: Definição de regiões para a identificação de marcha ativa



FONTE: GNU Octave. Próprio Autor

Após a identificação das marchas a partir dos dados reais, coletados pela porta OBD-II, essa informação foi disponibilizada no visor LCD do protótipo, Figura 4.2, para conferência, assim como a rotação do motor e velocidade do veículo, que podem ser verificados no painel do veículo e tela principal do teste FTP-75.

FIGURA 4.2: Identificação de marchas via dados OBD-II com base na relação de transmissão em tempo real.



FONTE: FCA, 2018

Com o objetivo de analisar o consumo de combustível e emissões veiculares, foi necessário adicionar outras variáveis para monitoramento, conforme discutido na sessão 3.4.2. Após a inserção das novas variáveis a serem requisitadas pelo

sistema, observou-se um comportamento aleatório do sistema com relação às mensagens recebidas, até então não observada com frequência. A Tabela 4.2 mostra alguns erros de leitura observados.

TABELA 4.2

Erros aleatórios devidos à falhas nas leituras de dados

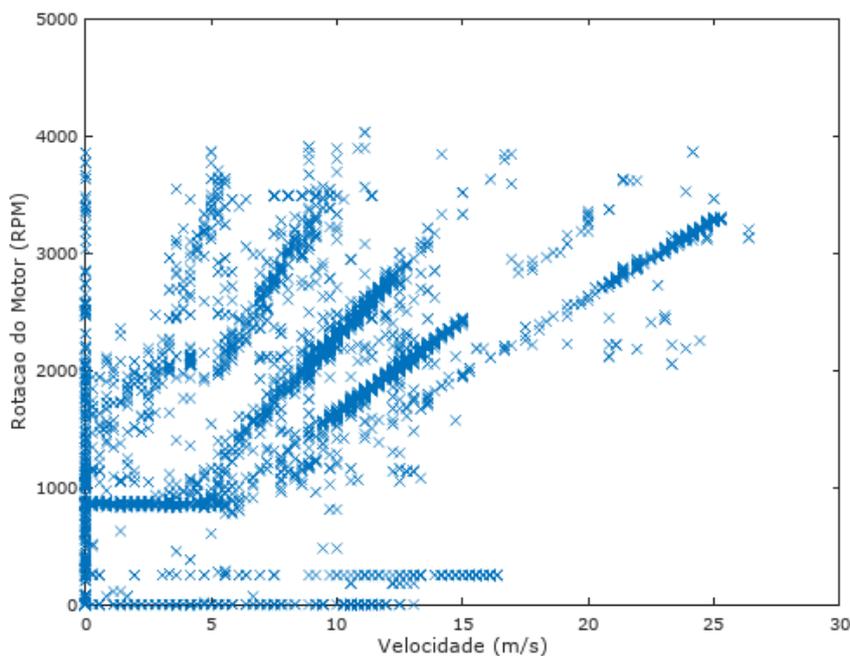
Tempo	RPM	Veloc.	Pedal	Carga	Press.	Temp.	Avanço	Ajuste L	O2	O2	Ajuste S.	Ajuste S.
228946	849	0	12	0	86	45	1.50	-1.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
229236	1599	0	15	8	86	45	-0.50	-1.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
229529	9892	0	15	8	34	45	-0.50	9.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
229827	1140	0	15	5	34	45	-2.50	15.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
230118	1657	0	15	5	28	44	-2.50	13.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
230410	1587	255	15	5	255	44	5.00	11.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
230706	1587	0	15	5	26	44	7.00	9.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
230998	1459	0	15	3	25	15	7.00	9.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
231293	1413	0	15	3	25	24	5.50	9.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
231586	1350	0	15	3	25	45	3.00	9.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
231876	1327	0	16	3	32	45	3.00	9.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
232168	1327	0	16	3	32	45	7.50	9.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
232457	1327	0	15	3	35	45	7.50	8.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
232750	1327	0	15	3	35	45	-7.50	8.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
233046	1274	0	16	4	36	38	19.00	8.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
233337	1336	0	17	5	42	45	19.00	8.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
233627	1354	0	19	6	42	45	19.00	5.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
233924	1376	4	19	7	56	45	15.00	3.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
234215	1381	6	19	7	56	45	8.00	2.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
234508	1394	7	19	9	83	45	-64.00	1.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
234803	1786	7	44	16	90	45	-64.00	1.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
235102	2135	11	44	20	90	40	-64.00	1.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
235403	2595	11	44	25	90	40	-64.00	3.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
235702	3059	11	36	28	90	45	9.50	3.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
235995	3447	18	21	25	65	45	9.50	11.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
236294	3773	18	21	22	65	45	9.50	7.00	0.00	0.00	-100.00	0.00

FONTE: Próprio Autor

O resultado mostrado na Tabela 4.2 indica alguns erros encontrados em uma janela de aproximadamente 10 segundos. Apesar dos erros parecerem ter pouca incidência e, logo, pouca influência nos resultados em si, os mesmos não podem ser previstos e controlados facilmente. Em alguns casos, bem esporádicos, obteve-se somente um ou dois dados válidos em uma janela de aproximadamente 2 segundos.

Com os erros de leitura se torna impossível uma aplicação adequada de qualquer algoritmo que analise o comportamento do veículo, uma vez que não se tem a confiança necessária da validade dos dados. Uma tentativa de sanar esse problema foi a criação de filtros específicos para cada variável, estimando-se um limite plausível para variações das variáveis dentro da faixa de 250 milissegundos. O Gráfico 4.17 mostra os mesmos resultados mostrados, agora aplicando os filtros para as duas variáveis.

GRÁFICO 4.16: Aplicação de filtros para validação das variáveis



FONTE: GNU Octave. Próprio Autor

Mesmo com a aplicação dos filtros, mostrado no Gráfico 4.16, ainda existem muitos dados que podem não condizer com os valores reais, prejudicando o algoritmo de avaliação e trocas de marcha. Para o caso, foram considerados válidos valores que diferenciassem, entre duas leituras subsequentes, em 1200 rpm, para rotações do motor, e em 15km/h, em velocidade. Apesar dos limites sugeridos parecerem grandes, foram considerados a possível ocorrência de vários erros subsequentes, o que poderia aumentar a diferença entre leituras válidas.

A discussão com respeito aos filtros somente trata o erro de leitura onde o byte de recebimento possui caracteres válidos. Outra fonte de erro do sistema, bastante comum após o incremento no número de variáveis, é a presença de caracteres não válidos no byte recebido, ou seja, estavam fora da faixa 0-9 e A-F, como mostra a Figura 4.3.

Conforme discutido no capítulo anterior a leitura de um PID no modo 01, retorna, necessariamente, os caracteres 41 + PID. Ou seja, para dados de rotação do motor, cujo PID é 0C, retornará “41 0C”, indicando que aquele dado recebido refere-se à rotação. A Figura 4.2 mostra diversos erros de validação da variável requerida, onde a string construída foi diferente do esperado (41+PID), e erros de validação do dado recebido, possuindo caracteres que não sejam 0-9 e A-F.

FIGURA 4.3: Problemas de leitura de caracteres não válidos

```

410B1B>
410F5C>
41067DAA>
41077F>
410C0C71>
410D00>
41ÿ1124>
41þ434>
410F5C>B
41067B89>
41077F>
410C0C77>
410D00>
41þÿ124>
41Cù34>>
410B1B>>

```

FONTE: Próprio Autor

Tal comportamento pode ser resultado de diversos fatores. A falta de sincronia entre o envio da requisição e recebimento de informações pode ocasionar um atropelamento dos dados e até mesmo verificação de validade de informação de variáveis diferentes, mesmo se a leitura fosse correta para outra variável, como mostrado na Figura 4.4, onde apresenta mensagens de erro para validação de uma variável, mas a informação recebida era de outra variável.

FIGURA 4.4: Exemplos de erros por falha em sincronização entre requisição e leitura

```

411124>
SpeedError New Attempt
411124>
SpeedError New Attempt
410D00>
410D00>
LoadError New Attempt
410D00>
LoadError New Attempt
410D00>
LoadError New Attempt
410405ù410436#f
410435>
PressureError New Attempt
4104j5ø;
PressureError New Attempt
410B1B>
410B1B>
TemperatureError New Attempt

```

FONTE: Próprio Autor

Outro tipo de erro frequente nas requisições é a presença de caracteres estranhos e não previstos encontrados na string formada. Apesar de problemas de comunicação do Bluetooth com o ELM327 ser a hipótese mais plausível, problemas com a velocidade de transmissão dos dados do conector também podem ser relevantes. Para a requisição de poucas variáveis, verificou-se que, em média, uma leitura correta do dados levava cerca de 5 a 10 milissegundos entre a requisição e formação da string a ser processada. Já com o aumento do número de variáveis, além de aumentar esse tempo, o mesmo não era necessariamente estável, ou seja, hora o sistema se comportava rapidamente com leituras válidas, hora havia demora entre a troca de informações, e até

travamentos.

Outra hipótese para esse tipo de caractere encontrado pode ser associado à sujeira presente no buffer, não sobrescrita pela nova leitura de dados. Uma indicativa desse problema pode ser novamente vista na Figura 4.3, onde se encontram caracteres parecidos após '>', que indica o final da transmissão da informação entre o ELM327 e a placa de desenvolvimento.

Uma avaliação mais criteriosa verificou que, ao adicionar mais variáveis às leituras, também é aumentado o tempo de espera da comunicação do conector ELM327 com a rede CAN, realizado através de um transceiver. Testes realizados com um conector que possui o transceiver NCV7342 (1Mbps), em que se foi respeitado o tempo de conexão com a rede CAN, diminuiu drasticamente os erros aleatórios encontrados, porém com frequência de aproximadamente 1 Hz. O conector utilizado nos testes, possui o transceiver TJA1042 (5Mbps), com velocidade de comunicação até 5 vezes maior. Desta forma, uma melhoria na comunicação CAN-ELM327-Arduino pode oferecer maior confiabilidade para o sistema proposto.

Com a filtragem dos dados e estabilização do sistema, os resultados obtidos serão utilizados para se estimar o consumo de combustível, e serão apresentados na sessão a seguir.

#### 4.4.2 Estimativa de consumo de combustível

Uma vez que o objetivo final do sistema proposto de aquisição de dados é obter melhorias em consumo de combustível e emissões, o sistema deve ser capaz de calcular esses resultados para justificar as tomadas de decisão, sugestões de dicas de melhoria, estimativa de ganhos, entre outros aspectos. Para isso, o sistema deve ser validado para que sua atuação não comprometa a operação usual do veículo, e desmotive o condutor utilizá-lo.

Como o dado direto acerca de consumo de combustível não é disponibilizado pela porta OBD-II do veículo estudado, tentativas de estimativas para a autonomia do veículo foram estudadas e apresentadas no capítulo anterior.

Com a discussão a respeito dos erros de leitura encontrados no sistema de aquisição de dados, o método descrito por Lee et al., 2011, se torna interessante por tratar de somente duas variáveis lidas, rotação do motor e percentual da borboleta. Entretanto, seu resultado encontrado para uma estimativa de consumo de combustível

instantâneo e médio, foi muito aquém do esperado, resultando numa diferença em consumo (calculado *versus* medido) de 76%, aproximadamente. Assim como discutido para o Gráfico 4.3, na maior parte do teste, o veículo opera com valores abaixo de 30% de abertura da válvula borboleta e, nessa região, uma superfície não pode ser bem definida, que seja capaz de traduzir o comportamento das variáveis com o consumo de combustível. Com isso, esse método foi descartado das análises.

Utilizando-se do método da densidade da velocidade, e da correção de razão ar-combustível indicada por Kang et al., 2015, de acordo com as Equações (3.3) a (3.5), foram calculadas as autonomias para quatro ensaios, de acordo com os dois métodos, indicados na Tabela 4.3 e Gráfico 4.17 com respeito da diferença entre o valor medido pelo aparato do laboratório. O método 1 e o método 2 referem-se aos métodos sem e com correção da razão ar-combustível, respectivamente.

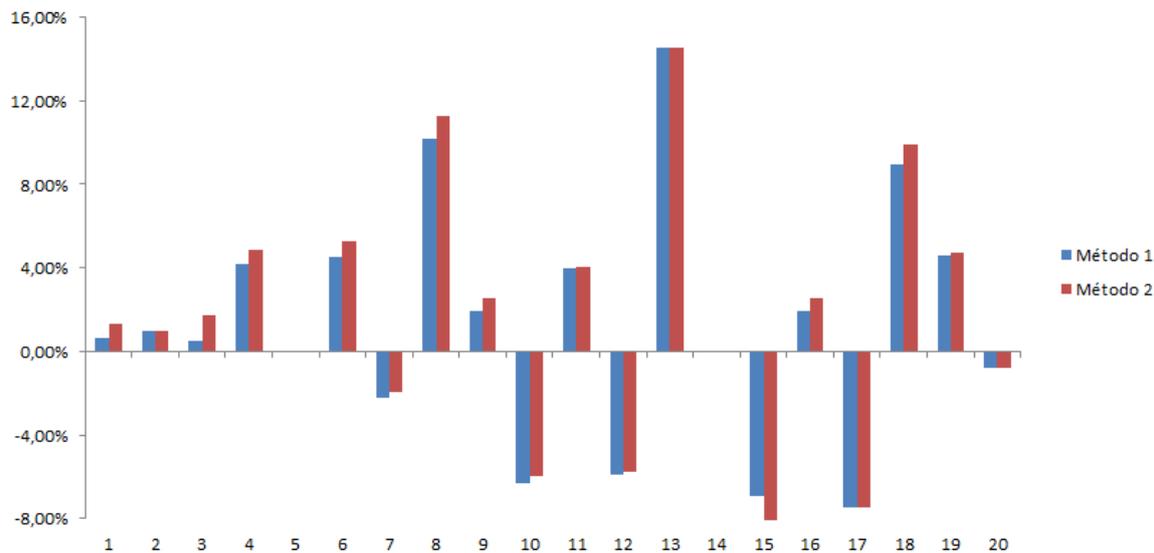
TABELA 4.3

Desvios de autonomia calculados para os dois métodos citados em relação ao valor medido

<b>Data</b>	<b>Teste</b>	<b>Método 1</b>	<b>Método 2</b>
		<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
04/05/2018	FTP F1 e F2	0,64%	1,30%
	FTP F1	0,95%	0,95%
	FTP F2	0,48%	1,74%
	FTP F3	4,21%	4,85%
	HW	----	----
03/05/2018	FTP F1 e F2	4,53%	5,30%
	FTP F1	-2,25%	-1,95%
	FTP F2	10,15%	11,28%
	FTP F3	1,96%	2,54%
	HW	-6,32%	-5,98%
27/04/2018	FTP F1 e F2	4,00%	4,06%
	FTP F1	-5,93%	-5,75%
	FTP F2	14,54%	14,51%
	HW	-6,93%	-8,10%
24/04/2018	FTP F1 e F2	1,93%	2,54%
	FTP F1	-7,47%	-7,47%
	FTP F2	8,96%	9,90%
	FTP F3	4,59%	4,71%
	HW	-0,77%	-0,77%

FONTE: Próprio Autor

GRÁFICO 4.17: Desvios percentuais dos métodos de estimativa de combustível em comparação com o consumo real medido



FONTE: Próprio Autor

Pelos dados mostrados na Tabela 4.3 e visualizados nos Gráfico 4.18, não percebe diferença perceptível entre os dois métodos, apesar do primeiro método sugerir ser o melhor. O segundo método requer duas variáveis a mais a serem lidas, que podem aumentar os erros aleatórios em todas as leituras do sistema, além das próprias leituras das variáveis adicionadas. Tendo esse fator em vista, o primeiro método pode ser o mais indicado. Além de possuir um menor número de variáveis monitoradas, sua diferença em relação ao consumo de combustível medido pode ser aprimorada com a melhoria na leitura do sistema, diminuindo os erros que possivelmente tiveram peso no cálculo.

Para um sistema que possa sugerir dicas ao motorista sobre sua condução é necessária a análise de indicadores. Como dito em Senternovem, 2005, manter rotações inferiores a 2500rpm é uma das alternativas para se obter melhoria em consumo de combustível. Logo, essa variável pode servir como ponto de partida para se analisar as diferenças no consumo dos ensaios realizados. Tais indicadores serão discutidos na próxima sessão.

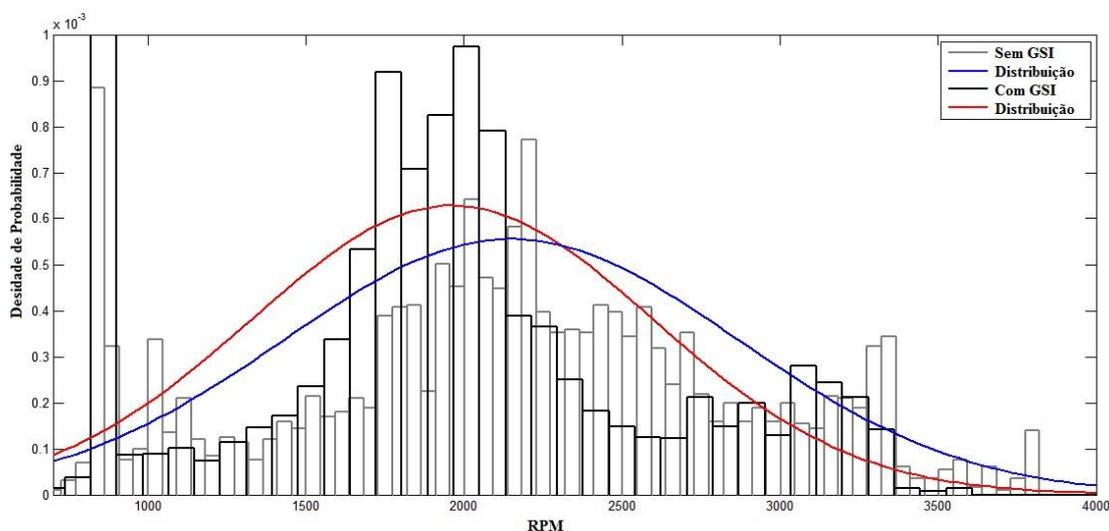
#### 4.4.3 Indicadores para a redução de consumo de combustível

Como dito anteriormente, a rotação do motor pode ser um bom indicador da eficiência em consumo de combustível da condução. Analisando a distribuição de

densidade de probabilidade dos testes com e sem a utilização do GSI pode-se compreender a influência desse parâmetro no consumo de combustível.

No Gráfico 4.18 são mostrados dois testes de ciclo urbano, um utilizando as sugestões do GSI e outro sem a utilização da ferramenta, e a densidade de probabilidade das rotações do motor ao longo dos testes. Com os dados de rotação, pode-se ver claramente a diferença entre os dois testes, em termos da rotação do motor.

GRÁFICO 4.18: Densidade de probabilidade das rotações do motor, juntamente com a distribuição normal dos ensaios de ciclo urbano com e sem a utilização do GSI



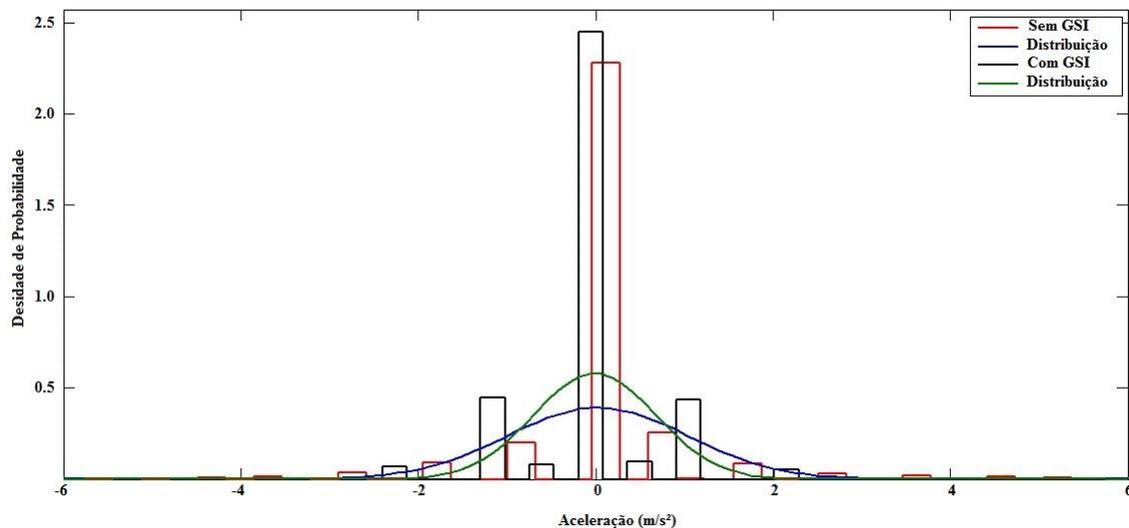
FONTE: MATLAB, 2009. Próprio Autor

O teste sem o uso do GSI tende a obter rotações mais altas, uma vez que a densidade de probabilidade se mostra maior em altas rotações, em comparação com o teste utilizando o GSI. Além disso, a análise da distribuição normal se torna fundamental para o entendimento do resultado. Percebe-se a média de rotações mais alta para o teste sem o GSI, de 2004rpm, e 1864rpm para o teste com o GSI, e maior variância ( $\sigma^2$ ), representada pela largura da distribuição. Desta forma, a diferença entre as distribuições da rotação do motor pode ser considerada um indicador de diferença em consumo de combustível. Lembrando que os testes foram realizados com velocidade controlada, o que limita essa diferença percebida que, entretanto, pode ter grande influência em testes em condições reais de condução.

Outro indicador avaliado na literatura é a diferença em aceleração. Da mesma forma como feito para a rotação, o Gráfico 4.19 foi obtido para analisar as diferenças em acelerações nos mesmos ensaios de ciclo urbano avaliados anteriormente.

Apesar de não muito discrepantes, a distribuição normal da aceleração para o ensaio realizado com o uso do GSI tende a ter um maior probabilidade de se encontrar próximo à media, e com menor variância que o ensaio sem o uso do GSI.

GRÁFICO 4.19: Densidade de probabilidade das acelerações, juntamente com a distribuição normal dos ensaios de ciclo urbano com e sem a utilização do GSI

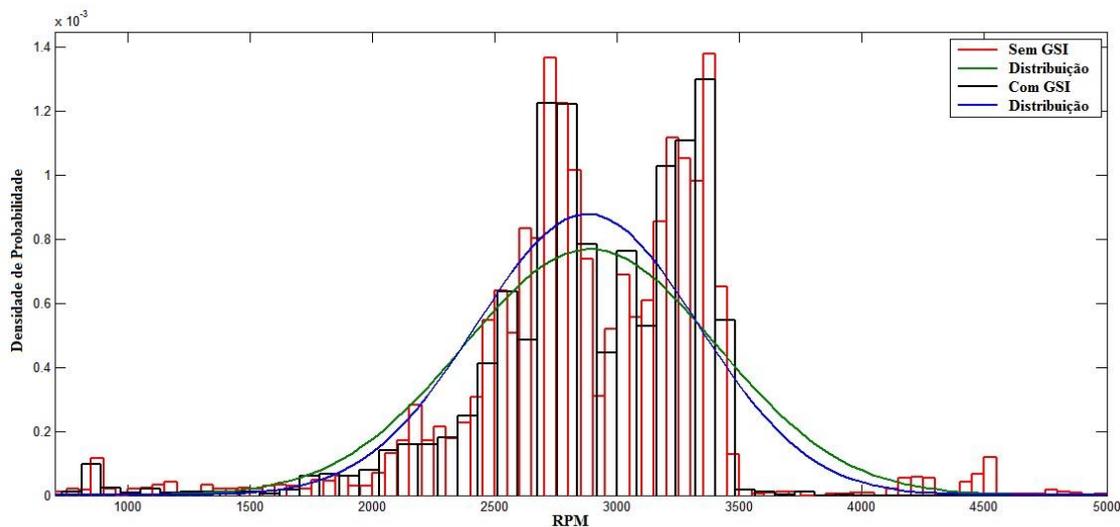


FONTE: MATLAB, 2009. Próprio Autor

Os ciclos urbanos avaliados obtiveram diferenças em consumo de 0,6%, aproximadamente. Com as análises realizadas, foram perceptíveis as diferenças em relação à rotação do motor e aceleração do veículo. Entretanto, é preciso realizar as mesmas análises para os ciclos estrada, cuja diferença percentual em consumo de combustível é de 0,04%, aproximadamente, e avaliar se as duas variáveis podem servir como reais indicadores de consumo. Os Gráficos 4.20 e 4.21 mostram os resultados para o ciclo estrada.

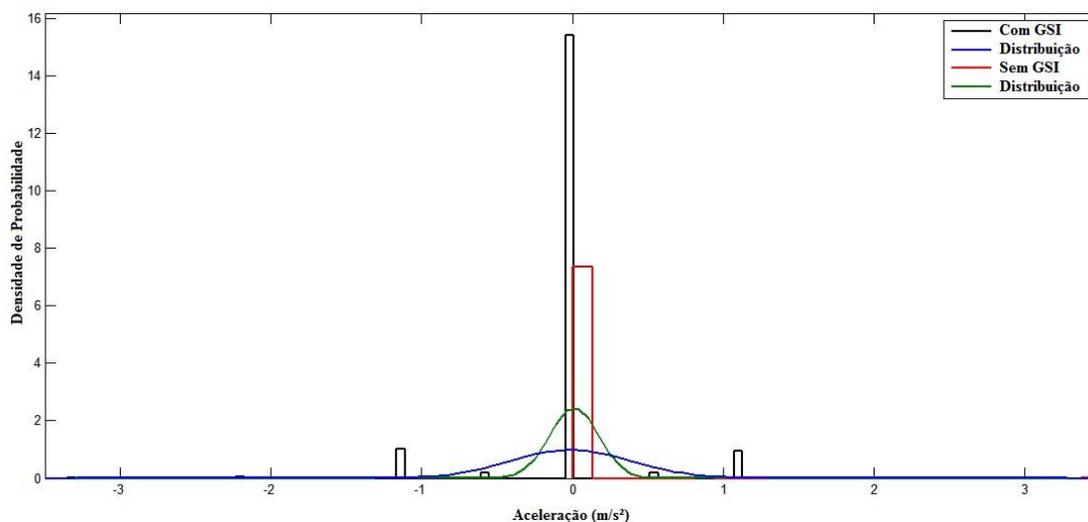
Os resultados encontrados, mostrados nos Gráficos 4.20 e 4.21, são pouco discrepantes entre si, o que corrobora para a pequena diferença em consumo entre os dois ensaios. Logo, as duas variáveis podem ser utilizadas como indicadores para obter reduções em consumo. Desta forma, um sistema de análise em tempo real pode utilizar as duas informações como objetivo, ou seja, caso o condutor ultrapasse algum valor de referência especificado, o sistema pode atuar com uma sugestão para que o usuário não perca em consumo de combustível.

GRÁFICO 4.20: Densidade de probabilidade das rotações do motor, juntamente com a distribuição normal dos ensaios de ciclo estrada com e sem a utilização do GSI



FONTE: MATLAB, 2009. Próprio Autor

GRÁFICO 4.21: Densidade de probabilidade das acelerações, juntamente com a distribuição normal dos ensaios de ciclo estrada com e sem a utilização do GSI



FONTE: MATLAB, 2009. Próprio Autor

O parâmetro IPS (inertial power surrogate), como dito por Hari et al., 2012, pode ser considerado um fator que mede a agressividade do condutor. Esse parâmetro é definido como a multiplicação da aceleração do veículo pela velocidade do mesmo. Para o caso estudado, este fator não obteve resultados relevantes. Uma vez que as médias das acelerações, como mostrado pelos Gráficos 4.21 e 4.19, são zero (ou muito próximas de zero) para todos os testes, sua média também será zero. Uma vez que os testes FTP-75 e HWFET são testes de perfis de velocidade, poucas serão as diferenças

entre os testes quando se comparada essa variável. Logo, o fator IPS, neste caso, segue a distribuição de aceleração  $e$ , portanto, com média zero. Para uma avaliação mais completa deste fator, testes em condições reais de operação precisam ser realizados.

## 5. CONCLUSÕES

O objetivo geral do trabalho foi analisar as consequências dos instantes de trocas de marcha, dependentes da atuação do motorista, que possam conferir maior consumo de combustível e emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Para isso, foram feitas análises do uso dos indicadores de troca de marchas (GSI) FCA e alternativo (proposto, utilizando-se de leituras da OBD-II), além da análise de indicadores de consumo, como rotação do motor e aceleração, cujas diferenças, nos ensaios realizados, puderam explicar a diferença em consumo obtida.

Em análise direta do consumo real medido por meio de balanço de carbono dos gases emitidos, o GSI FCA obteve melhores valores em consumo que o proposto, embora o último possa ser melhor ajustado a fim de aproximar as divergências entre os mesmos. Quando não se utilizou nenhuma estratégia de troca de marchas, o resultado médio em consumo diferiu de 0,50% para o meio Urbano, e 0,06% para o caso Estrada. Já no caso de maior consumo, essa diferença aumentou para 3,00% para o meio Urbano e 0,70% para o caso Estrada, aproximadamente.

O GSI proposto, utilizando somente leituras provenientes da porta OBD-II do veículo, apresentou resultados piores que o GSI FCA, com médias de consumo de combustível de 0,75% e 0,33%, para o caso urbano e estrada, respectivamente, as quais são melhores que o caso de maior consumo de combustível, sem a utilização da estratégia. Levando-se em consideração que o motorista dos ensaios é bem treinado e está acostumado a dirigir segundo as estratégias de trocas de marcha presentes no veículo, o pior caso pode ser considerado o mais relevante, ou seja, que pode não ter tido nenhuma influência da estratégia já de costume.

Para os resultados obtidos para emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, obteve-se, em média, uma melhoria em 1%, para o teste urbano, quando se comparado o GSI FCA e a utilização de nenhuma estratégia de trocas de marcha. Para o algoritmo de GSI alternativo proposto, os resultados não foram disponibilizados separadamente. Entretanto, o GSI FCA foi calibrado conforme legislação, com o compromisso de se obter a melhor relação entre emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de combustível. Apesar do GSI proposto possa ser alternativa de mercado, novos ensaios devem ser realizados para análises de emissões específicas.

O sistema de aquisição de dados desenvolvido para monitoramento dos

dados lidos pela porta OBD-II do veículo, apesar dos erros de leitura e comunicação encontrados durante o processo, pôde ser capaz de sugerir trocas de marcha plausíveis ao observar seu comportamento durante os testes, conforme o algoritmo estudado. Após melhorias no código para melhor confiança dos dados lidos, os erros encontrados diminuíram drasticamente, tornando-o mais confiável e apto a ser utilizado para análises do comportamento do motorista.

Os métodos de estimativa de consumo de combustível estudados sugerem que o número de variáveis lidas pode ser um fator relevante para confiabilidade dos dados lidos, uma vez que o método sem correção da razão ar-combustível obteve resultados menos discrepantes. A julgar que o último teste realizado, com melhorias no código e confiabilidade do mesmo, obteve estimativas mais próximas ao medido pelo equipamento dedicado do laboratório, o sistema de aquisição de dados pôde ser validado.

Os indicadores de consumo de combustível analisados foram capazes de explicar as diferenças em consumo de combustível obtidas para os ensaios realizados com e sem alguma estratégia de GSI. Logo, podem ser utilizados como pontos de partida para sugestões de mudança de comportamento do motorista em uma direção real.

### **5.1 Sugestões de trabalhos futuros**

Com a validação do protótipo do sistema de aquisição de dados proposto, para o prosseguimento do projeto pode se utilizar de outras mídias ou dispositivos para o processamento das informações. Uma vez que os celulares de hoje possuem grande capacidade de processamento de informações, esses dispositivos, além das centrais multimídias disponíveis nos veículos, surgem como alternativas ao uso da placa de desenvolvimento Arduino utilizada no projeto.

Com a implementação do sistema em dispositivos móveis, outras aplicações podem ser abordadas com a utilização de processadores mais poderosos, como envio de dados à nuvem e possibilidade de acesso às informações do veículo através de um perfil do motorista, onde o mesmo pode ter informações a respeito do seu veículo e sua condução de maneira off-line, mais detalhada e explorando outras funcionalidades da porta OBD-II, como a checagem de códigos de erros relacionados ao estado do veículo.

Ainda, com o monitoramento do veículo em tempo real, e utilização de

módulos de geolocalização, GPS, pode-se criar algoritmos de inteligência artificial que, além de analisar rotas de trânsito mais rápidas, pode indicar a rota que possui melhores benefícios em consumo de combustível, com base nas características de consumo do veículo sendo constantemente alimentando a inteligência artificial. Por exemplo, o sistema pode indicar duas rotas para o mesmo destino, mas em uma delas o veículo irá desenvolver maiores rotações de motor, acelerações e frenagens (elevações de pista, número de paradas, etc.).

Em resumo, muito ainda pode ser explorado com o sistema proposto, além da possibilidade de implementação em veículos mais antigos (até 2012), sendo uma alternativa de aftermarket a ser explorada pela companhia.

## **5.2 Considerações Finais**

O autor agradece mais uma vez à Fiat Chrysler Automóveis pelo incentivo à pesquisa e desenvolvimento tecnológico, além da ajuda financeira disponibilizada através do PROGRAMA INOVAR FCA - UNIVERSIDADES – RESIDÊNCIA TECNOLÓGICA PARA ENGENHEIROS.

## REFERÊNCIAS

ABAS, M. A. et al. **Fuel consumption evaluation of SI engine using start-stop technology.** Journal of Mechanical Engineering Sciences, v. 11, n. 4, p. 2967–2978, 2017.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6601-2012 - **Veículos rodoviários automotores leves — Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento.** n. x, p. 54, 2012.

ABUALI, N. **Advanced vehicular sensing of road artifacts and driver behavior.** Proceedings - IEEE Symposium on Computers and Communications, v. 2016–Febru, p. 45–49, 2016.

AF WÅHLBERG, A. E. **Long-term effects of training in economical driving: Fuel consumption, accidents, driver acceleration behavior and technical feedback.** International journal of industrial ergonomics, v. 37, n. 4, p. 333-343, 2007..

ANDO, R.; NISHIHORI, Y. **How does driving behavior change when following.** Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 20, p. 577–587, 2011.

ANDO, R.; NISHIHORI, Y. **A study on factors affecting the effective eco-driving.** Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 54, p. 27–36, 2012.

ANDRÉ, M. **The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions.** Science of the Total Environment, v. 334–335, p. 73–84, 2004.

ANDRÉ, M. et al. **Real-world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high- and low-powered cars.** Atmospheric Environment, v. 40, n. 31, p. 5944–5953, 2006.

AOYAMA, M. **Computing for the Next- Generation Automobile.** IEEE Computer Society, p. 32–38, 2012.

ARAÚJO, R. et al. **Driving coach: A smartphone application to evaluate driving efficient patterns.** IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings, v. 1, n. 1, p. 1005–1010, 2012.

BAEK, S. H.; JANG, J. W. **Implementation of integrated OBD-II connector with external network.** Information Systems, v. 50, p. 69–75, 2015.

BARBÉ, J.; BOY, G. **On-Board System Design To Optimise Energy Management.** Procedia EAM, n. Set 27-29, 2006.

BARLOW, T. et al. **A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions.** TRL Published Project Report, p. 280, 2009.

BELLOTTI, F.; BERTA, R.; DE GLORIA, A. **A Social Serious Game Concept for Green, Fluid and Collaborative Driving.** In: [s.l.] Springer, Cham, 2014. p. 163–170.

BLAGOJEVIĆ, I. et al. **A model for gear shifting optimization in motor vehicles.** Transactions of Famena, v. 36, n. 2, p. 51–66, 2012.

BOSCH. **Starter Motors and Generators The BRS boost recuperation system: increased power, enhanced comfort and lower fuel consumption.** Disponível em: <[https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/media/migrated\\_download/de/BRS\\_Broschuere\\_RZ\\_en.pdf](https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/media/migrated_download/de/BRS_Broschuere_RZ_en.pdf)>. Acesso em: 28 maio. 2018.

BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada Para Consecução do Objetivo da Convenção-quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima.** Disponível em: <[http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf)>. Acesso em: 21 jan. 2017.

CHOWDHURY, A. et al. **Smartphone based sensing enables automated vehicle prognosis**. Proceedings of the International Conference on Sensing Technology, ICST. Anais...2015

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Proposta CONAMA L7 L8**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/phocadownload/proconve-promot/2017/consulta-publica/2017-10-proposta-conama-L7-L8-v3-m.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2018.

DAVARI, M. M. et al. **Extended Brush Tyre Model to Study Rolling Loss in Vehicle Dynamics Simulations**. International Journal of Vehicle Design, v. 73, n. 4, p. 255–280, 2017.

GALGAMUWA, U.; PERERA, L.; BANDARA, S. **A Representative Driving Cycle for the Southern Expressway Compared to Existing Driving Cycles**. Transportation in Developing Economies, v. 2, 2016.

HARI, D. et al. **Analysis of a driver behaviour improvement tool to reduce fuel consumption**. Proceedings - 2012 International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2012, p. 208–213, 2012.

HAWORTH, N.; SYMMONS, M. **Driving to Reduce Fuel Consumption and Improve Road Safety**. Road Safety Research, Policing and Education Conference, 2001, Melbourne, Victoria, Australia, n. 5, p. 7, 2001.

INMETRO. **Tabela de Consumo/Eficiência Energética Veículos Automotores Leves**. Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE: [s.n.].

JOHNSON, D. A.; TRIVEDI, M. M. **Driving Style Recognition Using a Smartphone As a Sensor Platform**. 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. Anais...Washington, DC, USA: 2011Disponível em: <[http://cvrr.ucsd.edu/publications/2011/Johnson\\_ITSC2011.pdf](http://cvrr.ucsd.edu/publications/2011/Johnson_ITSC2011.pdf)>

JOURMARD, R. et al. **Influence of driving cycles on unit emissions from passenger cars.** Atmospheric Environment, v. 34, n. 27, p. 4621–4628, 2000.

KANG, L. et al. **EcoDrive: A mobile sensing and control system for fuel efficient driving.** 21st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom 2015, v. 2015–Septe, p. 358–371, 2015a.

KANG, L. et al. **EcoDrive: A mobile sensing and control system for fuel efficient driving.** 21st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom 2015, v. 2015–Septe, p. 358–371, 2015b.

KATRASNIK, T. **Hybridization of powertrain and downsizing of IC engine – A way to reduce fuel consumption and pollutant emissions – Part 1.** v. 48, p. 1411–1423, 2007.

KIRWAN, J. E. et al. **3-Cylinder Turbocharged Gasoline Direct Injection: A High Value Solution for Low CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Emissions.** SAE International Journal of Engines, v. 3, n. 1, p. 2010-01–0590, 12 abr. 2010.

LEDUC, P. et al. **Downsizing of Gasoline Engine : an Efficient Way to Reduce CO<sub>2</sub> Emissions.** v. 58, n. 1, p. 115–127, 2003.

LEE, M. G. et al. **Estimation of Fuel Consumption using In-Vehicle Parameters.** International Journal of u- and e- Service, Science and Technology, v. 4, n. 4, p. 37–46, 2011.

LI, R.; LIU, C.; LUO, F. **A design for automotive CAN bus monitoring system.** 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2008, p. 1–5, 2008.

LOPES, S. et al. **Revisão sobre uso de sílica nos pneus automotivos para redução de consumo de combustível.** XXV Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva. Anais...2017

MESEGUER, J. E. et al. **DrivingStyles: A smartphone application to assess driver behavior**. Proceedings - International Symposium on Computers and Communications, p. 535–540, 2013.

MUNOZ-ORGANERO, M.; MAGANA, V. C. **Validating the impact on reducing fuel consumption by using an ecodriving assistant based on traffic sign detection and optimal deceleration patterns**. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, v. 14, n. 2, p. 1023–1028, 2013.

ORTENZI, F; COSTAGLIOLA, M. A.. **A new method to calculate instantaneous vehicle emissions using OBD data**. SAE Technical Paper, 2010..

QUATRO RODAS. **Comparativo: Toyota Prius x Ford Fusion Hybrid | Quatro Rodas**. Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/testes/comparativo-toyota-prius-x-ford-fusion-hybrid/>>. Acesso em: 20 maio. 2018.

RICO, J. A. P. **Programa de Biocombustíveis no Brasil e na Colômbia: Uma Análise da Implantação, Resultados e Perspectivas**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2007.

SENTERNOVEM. **Ecodriving - The smart driving style**. Disponível em: <<http://www.thepep.org/ClearingHouse/docfiles/ecodriving.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2017a.

SOARES, C. R. **Sistema Antibloqueio De Frenagem , Sensoriamento E Aplicações Na Engenharia**. [s.l.] Universidade de São Francisco, 2012.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE J1979: E/E Diagnostic Test Modes**. p. 223, 2006.

TONG, H. Y.; HUNG, W. T.; CHEUNG, C. S. **Development of a driving cycle for Hong Kong**. Atmospheric Environment, v. 33, n. 15, p. 2323–2335, 1999.

TULUSAN, J. et al. **Eco-efficient feedback technologies: Which eco-feedback types prefer drivers most ?** p. 1–8, 2011.

TZIRAKIS, E. et al. **Vehicle Emissions and Driving Cycles : Comparison of the Athens Driving Cycle ( Adc ) With Ece-15 and European Driving Cycle ( Edc )**. Global NEST Journal, v. 8, n. 3, p. 282–290, 2006.

TZIRAKIS, E.; ZANNIKOS, F. **Development of processing methodologies used to form complete driving-cycle dynamometer tests based on urban on-road driving and road gradient data**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, v. 229, n. 1, p. 97–110, 2015.

UNITED NATIONS. **Climate Get The Big Picture - The Paris Agreement**. Disponível em: <<http://bigpicture.unfccc.int/#content-the-paris-agreemen>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

VAEZIPOUR, A.; RAKOTONIRAINY, A.; HAWORTH, N. **Reviewing In-vehicle Systems to Improve Fuel Efficiency and Road Safety**. (E. B.V., Ed.)6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015 Reviewing. Anais...Procedia Manufacturing, 2015aDisponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.869>>

VAEZIPOUR, A.; RAKOTONIRAINY, A.; HAWORTH, N. **Reviewing In-vehicle Systems to Improve Fuel Efficiency and Road Safety**. (E. B.V., Ed.)6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015 Reviewing. Anais...Procedia Manufacturing, 2015b

VIJAYAN, A. **Characterization of Vehicular Exhaust Emissions and Indoor Air Quality of Public Transport Buses Operating on Alternative Diesel Fuels**. [s.l.] The University of Toledo, 2007.

WOLF, M.; WEIMERSKIRCH, A.; PAAR, C. **Security in Automotive Bus Systems**. Proceedings of the Workshop on Embedded Security in Cars, n. July, p. 1–13, 2004.

ZALDIVAR, J. et al. **Providing accident detection in vehicular networks through OBD-II devices and android-based smartphones.** Proceedings - Conference on Local Computer Networks, LCN, p. 813–819, 2011.

## ANEXO 1 – LISTA DE PIDs

A Tabela a seguir apresenta os PIDs determinados pela norma SAE J1979 presentes na porta OBD-II, com sua respectiva unidade e fórmula para obtenção do valor real. Alguns PIDs não apresentam fórmulas simples, sendo codificados dependendo do bit recebido, não apresentado. Nem todos os PID's apresentados estão disponíveis para serem lidos em todos os carros.

PID (hex)	PID (Dec)	Data bytes returned	Description	Min value	Max value	Units	Formula
00	0	4	PIDs supported [01 - 20]				
01	1	4	Monitor status since DTCs cleared. (Includes malfunction indicator lamp (MIL) status and number of DTCs.)				
02	2	2	Freeze DTC				
03	3	2	Fuel system status				
04	4	1	Calculated engine load	0	100	%	$(100/255)*A$
05	5	1	Engine coolant temperature	-40	215	°C	$A-40$
06	6	1	Short term fuel trim—Bank 1	-100 (Reduce Fuel: Too Rich)	99.2 (Add Fuel: Too Lean)	%	$(100/128)*A-100$
07	7	1	Long term fuel trim—Bank 1				
08	8	1	Short term fuel trim—Bank 2				
09	9	1	Long term fuel trim—Bank 2				
0A	10	1	Fuel pressure (gauge pressure)	0	765	kPa	$3*A$
0B	11	1	Intake manifold absolute pressure	0	255	kPa	$A$
0C	12	2	Engine RPM	0	16,383.75	rpm	$(256*A+B)/4$
0D	13	1	Vehicle speed	0	255	km/h	$A$
0E	14	1	Timing advance	-64	63.5	° before TDC	$(A/2)-64$
0F	15	1	Intake air temperature	-40	215	°C	$A-40$
10	16	2	MAF air flow rate	0	655.35	grams/sec	$(256*A+B)/4$
11	17	1	Throttle position	0	100	%	$(100/255)*A$
12	18	1	Commanded secondary air status				
13	19	1	Oxygen sensors present (in 2				

			banks)				
14	20	2	Oxygen Sensor 1 A: Voltage B: Short term fuel trim				
15	21	2	Oxygen Sensor 2 A: Voltage B: Short term fuel trim				
16	22	2	Oxygen Sensor 3 A: Voltage B: Short term fuel trim				
17	23	2	Oxygen Sensor 4 A: Voltage B: Short term fuel trim	0	1.275	volts	(A/200)
18	24	2	Oxygen Sensor 5 A: Voltage B: Short term fuel trim	-100	99.2	%	(100/128)*B-100
19	25	2	Oxygen Sensor 6 A: Voltage B: Short term fuel trim				
1A	26	2	Oxygen Sensor 7 A: Voltage B: Short term fuel trim				
1B	27	2	Oxygen Sensor 8 A: Voltage B: Short term fuel trim				
1C	28	1	OBD standards this vehicle conforms to				
1D	29	1	Oxygen sensors present (in 4 banks)				
1E	30	1	Auxiliary input status				
1F	31	2	Run time since engine start	0	65,535	seconds	256*A+B
20	32	4	PIDs supported [21 - 40]				
21	33	2	Distance traveled with malfunction indicator lamp (MIL) on	0	65,535	km	256*A+B
22	34	2	Fuel Rail Pressure (manifold vacuum)	0	5177.265	kPa	0.079*(256*A+B)
23	35	2	Fuel Rail Gauge Pressure (diesel, or gasoline direct injection)	0	655,350	kPa	10*(256*A+B)
24	36	4	Oxygen Sensor 1 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio	0 0	< 2 < 8	ratio V	(2/65536)*(256*A+B) (8/65536)*(256*C+D)

			CD: Voltage				
25	37	4	Oxygen Sensor 2 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
26	38	4	Oxygen Sensor 3 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
27	39	4	Oxygen Sensor 4 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
28	40	4	Oxygen Sensor 5 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
29	41	4	Oxygen Sensor 6 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
2A	42	4	Oxygen Sensor 7 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
2B	43	4	Oxygen Sensor 8 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Voltage				
2C	44	1	Commanded EGR	0	100	%	$(100/255)*A$
2D	45	1	EGR Error	-100	99.2	%	$(100/255)*A$
2E	46	1	Commanded evaporative purge	0	100	%	$(100/255)*A$
2F	47	1	Fuel Tank Level Input	0	100	%	$(100/255)*A$
30	48	1	Warm-ups since codes cleared	0	255	count	A
31	49	2	Distance traveled since codes cleared	0	65,535	km	$256*A+B$
32	50	2	Evap. System Vapor Pressure	-8,192	8191.75	Pa	$(256*A+B)/4$
33	51	1	Absolute Barometric Pressure	0	255	kPa	A
34	52	4	Oxygen Sensor 1 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio	0 -128	< 2 <128	ratio mA	$(2/65536)*(256*A+B)$ $(256*C+D)/256$

			CD: Current				
35	53	4	Oxygen Sensor 2 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Current				
36	54	4	Oxygen Sensor 3 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Current				
37	55	4	Oxygen Sensor 4 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Current				
38	56	4	Oxygen Sensor 5 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Current				
39	57	4	Oxygen Sensor 6 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Current				
3A	58	4	Oxygen Sensor 7 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Current				
3B	59	4	Oxygen Sensor 8 AB: Fuel–Air Equivalence Ratio CD: Current				
3C	60	2	Catalyst Temperature: Bank 1, Sensor 1	-40	6,513.5	°C	$(256*A+B)/10 - 40$
3D	61	2	Catalyst Temperature: Bank 2, Sensor 1				
3E	62	2	Catalyst Temperature: Bank 1, Sensor 2				
3F	63	2	Catalyst Temperature: Bank 2, Sensor 2				
40	64	4	PIDs supported [41 - 60]				
41	65	4	Monitor status this drive cycle				
42	66	2	Control module voltage	0	65.535	V	$(256*A+B)/1000$
43	67	2	Absolute load value	0	25,700	%	$(256*A+B)*100/255$
44	68	2	Fuel–Air commanded equivalence ratio	0	< 2	ratio	$(2/65536)*(256*A+B)$

45	69	1	Relative throttle position	0	100	%	100/255*A
46	70	1	Ambient air temperature	-40	215	°C	A-40
47	71	1	Absolute throttle position B	0	100	%	100/255*A
48	72	1	Absolute throttle position C				
49	73	1	Accelerator pedal position D				
4A	74	1	Accelerator pedal position E				
4B	75	1	Accelerator pedal position F				
4C	76	1	Commanded throttle actuator				
4D	77	2	Time run with MIL on	0	65,535	minutes	256*A+B
4E	78	2	Time since trouble codes cleared				
4F	79	4	Maximum value for Fuel–Air equivalence ratio, oxygen sensor voltage, oxygen sensor current, and intake manifold absolute pressure	0, 0, 0, 0	255, 255, 255, 2550	ratio, V, mA, kPa	A, B, C, D*10
50	80	4	Maximum value for air flow rate from mass air flow sensor	0	2550	g/s	A*10, B, C, and D are reserved for future use
51	81	1	Fuel Type				
52	82	1	Ethanol fuel %	0	100	%	100/255*A
53	83	2	Absolute Evap system Vapor Pressure	0	327.675	kPa	(256*A+B)/200
54	84	2	Evap system vapor pressure	-32,767	32,768	Pa	((A*256)+B)-32767
55	85	2	Short term secondary oxygen sensor trim, A: bank 1, B: bank 3	-100	99.2	%	100*A/128-100 100*B/128-100
56	86	2	Long term secondary oxygen sensor trim, A: bank 1, B: bank 3				
57	87	2	Short term secondary oxygen sensor trim, A: bank 2, B: bank 4				
58	88	2	Long term secondary oxygen sensor trim, A: bank 2, B: bank 4				
59	89	2	Fuel rail absolute pressure	0	655.350	kPa	10*(256*A+B)
5A	90	1	Relative accelerator pedal position	0	100	%	100/255*A
5B	91	1	Hybrid battery pack remaining life	0	100	%	100/255*A
5C	92	1	Engine oil temperature	-40	210	°C	A-40

5D	93	2	Fuel injection timing	-210.00	301.992	°	$(256*A+B)/128 - 210$
5E	94	2	Engine fuel rate	0	3276.75	L/h	$(256*A+B)/20$
5F	95	1	Emission requirements to which vehicle is designed				
60	96	4	PIDs supported [61 - 80]				
61	97	1	Driver's demand engine - percent torque	-125	130	%	A-125
62	98	1	Actual engine - percent torque	-125	130	%	A-125
63	99	2	Engine reference torque	0	65,535	Nm	$(256*A+B)$
64	100	5	Engine percent torque data	-125	130	%	A-125 Idle B-125 Engine point 1 C-125 Engine point 2 D-125 Engine point 3 E-125 Engine point 4

## ANEXO 2 – CÓDIGO ARDUINO

Abaixo, será apresentado o código implementado em Arduino para aquisição de dados e sugestão de troca de marchas.

```
//-----//
//-----Código feito por Bernardo J. Murta-----//
//-----Julho 2018-----//
//-----Adaptado de Kostas Kokoras-----//
//-----forum.arduino.cc/index.php?topic=149453.0-----//
//-----//

#include <math.h>           //Para ter a função de arredondamento (ROUND())
#include <SoftwareSerial.h> //Biblioteca para usar outros pinos de RX\TX para o módulo Bluetooth
#include <LiquidCrystal.h>

SoftwareSerial BTSerial(12, 11); //RX - PIN 12 | TX-PIN 11
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7); //Pinos de conexão do Shield LCD

//-----//
//-----Variáveis Globais-----//
//-----//

boolean obd_error_flag, valid;

//Variáveis para o procedimento de RPM:
boolean rpm_error_flag;           //Variável para erro de leitura de RPM
boolean rpm_retries;             //Variável para tentativas de leitura de RPM
#define RPM_CMD_RETRIES 5        //Número máximo de tentativas de leitura de RPM
unsigned int rpm = 0, rpmTeste;  //Variáveis para RPM
byte rpmdata = 0;               //Disponibilidade de outro dado

//Variáveis para o procedimento de Pedal:
boolean throttle_error_flag;     //Variável para erro de leitura de Borboleta
boolean throttle_retries;       //Variável para tentativas de leitura de Borboleta
int throttle,throttle_to_disp;   //Variáveis para Borboleta
#define THROTTLE_CMD_RETRIES 5   //Número máximo de tentativas de leitura de Borboleta

//Variáveis para o procedimento de Velocidade:
boolean velocidade_error_flag;   //Variável para erro de leitura de Velocidade
boolean velocidade_retries;     //Variável para tentativas de leitura de Velocidade
unsigned int velocidade;        //Variáveis para Velocidade
#define VELOCIDADE_CMD_RETRIES 5 //Número máximo de tentativas de leitura de Velocidade

//Variáveis para o procedimento de Load:
boolean load_error_flag;        //Variável para erro de leitura de Carga
```

```

boolean load_retries;           // Variável para tentativas de leitura de Carga
int load;//Variables
#define LOAD_CMD_RETRIES 5     // Número máximo de tentativas de leitura de Carga

byte rpmdata = 0;              // novo dado disponível
byte throttledata = 0;        // novo dado disponível
byte velocidadedata = 0;      // novo dado disponível
byte loaddata = 0;             // novo dado disponível

//Demais Variáveis
int intPress, intTemp;
float longTrim, shortTrim;

//Variáveis Auxiliares
int gear, min_rpm, max_rpm, liconst, ficonst, lmax=33, fimax=87, fimin=13;
float lfi_ratio;
int readTest=0;
boolean correctAns;           //Variável para leitura correta dos dados

//-----//
//-----Configurações-----//
//-----//

void setup()
{
pinMode (2, OUTPUT);          //Pino LED (GearShift)
pinMode (3, OUTPUT);          //Pino LED (GearShift)

Serial.begin(9600);           //Inicialização da porta Serial Arduino-PC
BTSerial.begin(38400);        //Inicialização da porta Serial Arduino-Bluetooth (padrão)

//Inicialização do LCD
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("INIT");

obd_error_flag = false;      //Flag de Erro de leitura da OBD é falso

//Início do Programa
Serial.println("Program Begin...");
Serial.println("Setting Protocol");
BTSerial.print("ATZ\r");      //Reset do Conector ELM327
delay(1000);
BTSerial.print("ATE0\r");     // Desliga o Eco
delay(1000);
BTSerial.print("ATL0\r");     //Desliga o Linefeed
delay(1000);
BTSerial.print("ATSP7\r");    //Seta o protocolo
delay(1000);

```

```

BTSerial.print("ATDPN");           //Verifica o Protocolo
delay(1000);

lcd.clear();

}

//-----//
//-----Programa Principal-----//
//-----//

void loop ()
{ static long tempo = millis();
  int init=0;

  if(init==0) delay(250);
  if(millis()-tempo >= 250){
    init=1;
    correctAns=false;
    while(!correctAns){ OBD_Request("010C1", 15, 1); //Requisição de Dados de RPM
      delay(10);}
    correctAns=false;
    while(!correctAns){ OBD_Request("01111", 10, 2); //Requisição de Dados de Percentual de Borboleta
      delay(10);}
    correctAns=false;
    while(!correctAns){ OBD_Request("010D1", 10, 3); //Requisição de Dados de Velocidade
      delay(10);}
    correctAns=false;
    while(!correctAns){ OBD_Request("01041", 10, 4); //Requisição de Dados de Carga
      delay(10);}
    correctAns=false;
    while(!correctAns){ OBD_Request("010B1", 10, 5); //Requisição de Dados de Pressão do Ar de Entrada
      delay(10);}
    correctAns=false;
    while(!correctAns){ OBD_Request("010F1", 10, 6); //Requisição de Dados de Temperatura do Ar de Entrada
      delay(10);}
    correctAns=false;
    while(!correctAns){ OBD_Request("01071", 10, 7); //Requisição de Dados de Long Trim
      delay(10);}
    correctAns=false;
    while(!correctAns){ OBD_Request("01061", 10, 8); //Requisição de Dados de Short Trim
      delay(10);}

    if (rpmdata != rpm)
    {
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print(rpm);
    }
    if (velocidadedata != velocidade)
    {
      lcd.setCursor(8, 1);

```

```

    lcd.print(velocidade);
}

set_gear();           //Chama função de identificação de marchas
gear_shift();        //Chama função de GSI proposto

//Impressão dos dados lidos
Serial.print(millis());
Serial.print(" ");
Serial.print(rpmTeste);
Serial.print(" ");
Serial.print(velocidade);
Serial.print(" ");
Serial.print(throttle);
Serial.print(" ");
Serial.print(load);
Serial.print(" ");
Serial.print(intPress);
Serial.print(" ");
Serial.print(intTemp);
Serial.print(" ");
Serial.print(shortTrim);
Serial.print(" ");
Serial.println(longTrim);

    tempo = millis();
}
}

//FIM do Programa

//-----//
//-----Relação de Transmissão-----//
//-----//

void set_gear()
{ float gear_relation;

    gear_relation = rpm / velocidade;

    if (gear_relation >= 134 && gear_relation <= 270) {
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Gear 1 Engaged");
        gear=1;
        lfi_ratio=0;
        min_rpm=1400;
        max_rpm=2600;
        liconst=22;
        ficonst=27;
    }
}

```

```

} else if (gear_relation > 80 && gear_relation < 134) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Gear 2 Engaged");
    gear=2;
    lfi_ratio=0.86;
    min_rpm=1400;
    max_rpm=2800;
    liconst=22;
    ficonst=26;
} else if (gear_relation > 53.5 && gear_relation < 80) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Gear 3 Engaged");
    gear=3;
    lfi_ratio=0.75;
    min_rpm=1500;
    max_rpm=2300;
    liconst=23;
    ficonst=30;
} else if (gear_relation > 40 && gear_relation < 53.5) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Gear 4 Engaged");
    gear=4;
    lfi_ratio=0.82;
    min_rpm=1550;
    max_rpm=2400;
    liconst=21;
    ficonst=31;
} else if (gear_relation < 40 && gear_relation > 27) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Gear 5 Engaged");
    gear=5;
    lfi_ratio=0.79;
    min_rpm=1550;
    max_rpm=2300;
    liconst=26;
    ficonst=33;
} else {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("No Gear");
    gear=0;
}
}

//-----//
//-----Requisição de Dados-----//
//-----//

void OBD_Request(char *obd_cmd, int l, int r){
    boolean prompt;
    char recvChar, bufin[];

```

```

int i;

readTest=r;
if (!(obd_error_flag)) {          //Somente realiza as requisições se não tiver erro de conexão com a OBD

// valid=false;
prompt = false;
BTSerial.print(obd_cmd);          //Envia o comando para a OBD 010C correspondente à RPM, O último caractere 1
// significa uma espera por somente uma resposta do ELM

BTSerial.print("\r");
while (BTSerial.available() <= 0); //Espera pelo recebimento de dados do ELM327
i = 0;
while ((BTSerial.available() > 0) && (!prompt)) { //Envio de Dados até o prompt
  recvChar = BTSerial.read();          //Leitura de dados do Bluetooth
  if ((i < 15) && (!(recvChar == 32))) { //Ignora o caracter ASCII 32 - espaço
    bufin[i] = recvChar;                //Montagem da String
    i = i + 1;
  }
  if (recvChar == 62) prompt = true;    //Se o caracter recebido for o ASCII 62 - ">", foi recebido o prompt, fim
de recebimento de dados
}
}
Serial.println(bufin);
varTeste(bufin);
}

//-----//
//-----Validação de Variáveis-----//
//-----//

void varTeste(char *teste_char){
switch(readTest){
case 1:
int i;
if ((teste_char[0] == '4') && (teste_char[1] == '1') && (teste_char[2] == '0') && (teste_char[3] == 'C')) { //Confirma
se os primeiros caracteres são 410C
    valid = true;          //Resposta Válida - Dado lido é RPM
    rpm_retries = 0;       //Tentativas = 0
    rpm_error_flag = false; //Erro de RPM é falso
    rpmTeste = 0;

//Conversão Hexadecimal para Decimal
for (i = 4; i < 8; i++) {
if ((teste_char[i] >= 'A') && (teste_char[i] <= 'F')) { //Busca para caracteres entre 'A' e 'F'
    teste_char[i] -= 55;          //'A'-55=10
}
else if ((teste_char[i] >= '0') && (teste_char[i] <= '9')) { //Busca para caracteres entre '0' e '9'
    teste_char[i] -= 48;          //'0'-48=0
}
}
}

```



```

String velocidadeHex(teste_char[4]);
String velocidadeHex2(teste_char[5]);
String velocidadeHexTotal=velocidadeHex+velocidadeHex2;
velocidade=hexToDec(velocidadeHexTotal);
correctAns=true;
}else {
    Serial.println("SpeedError New Attempt");
}
break;

case 4:
if ((teste_char[0]=='4' && (teste_char[1]=='1') && (teste_char[2]=='0') && (teste_char[3]=='4')){
    //se os primeiros 4 caracteres são '4104'

    valid=true;
    load_retries=0; //reseta para 0 tentativas
    load_error_flag=false; //flag de erro falso

    //Cálculo:
    String loadHex(teste_char[4]);
    String loadHex2(teste_char[5]);
    String loadHexTotal=loadHex+loadHex2;
    int DecimalDecode=hexToDec(loadHexTotal);
    load=round((float(DecimalDecode)/255)*100); //Arredonda e devolve valor final
    correctAns=true;
}else {
    Serial.println("LoadError New Attempt");
}
break;

case 5:
if ((teste_char[0]=='4' && (teste_char[1]=='1') && (teste_char[2]=='0') && (teste_char[3]=='B')){
    //Se os 4 primeiros caracteres são 410B

    valid=true;
    //velocidade_retries=0; //reseta para 0 tentativas
    //velocidade_error_flag=false; //flag de erro falso

    //Cálculo:
    String intPressHex(teste_char[4]);
    String intPressHex2(teste_char[5]);
    String intPressHexTotal=intPressHex+intPressHex2;
    intPress=hexToDec(intPressHexTotal);
    correctAns=true;
}else {
    Serial.println("PressureError New Attempt");
}
break;

case 6:
if ((teste_char[0]=='4' && (teste_char[1]=='1') && (teste_char[2]=='0') && (teste_char[3]=='F')){
    //se os 4 primeiros caracteres são 410F

```

```

valid=true;
//velocidade_retries=0; //reseta para 0 tentativas
//velocidade_error_flag=false; //flag de erro falso

//Cálculo:
String intTempHex(teste_char[4]);
String intTempHex2(teste_char[5]);
String intTempHexTotal=intTempHex+intTempHex2;
intTemp=hexToDec(intTempHexTotal)-40;
correctAns=true;
}else {
    Serial.println("TemperatureError New Attempt");
}
break;

case 7:
if ((teste_char[0]=='4') && (teste_char[1]=='1') && (teste_char[2]=='0') && (teste_char[3]=='7')){
    //se os 4 primeiros caracteres são 4107

    valid=true;
    //velocidade_retries=0; //reseta para 0 tentativas
    //velocidade_error_flag=false; //flag de erro falso

    //Cálculo:
    String longTrimHex(teste_char[4]);
    String longTrimHex2(teste_char[5]);
    String longTrimHexTotal=longTrimHex+longTrimHex2;
    int DecimalDecode=hexToDec(longTrimHexTotal);
    longTrim=round((float(DecimalDecode)/128)*100)-100; //Arredonda e devolve valor final
    correctAns=true;
}else {
    Serial.println("LTrimError New Attempt");
}
break;

case 8:
if ((teste_char[0]=='4') && (teste_char[1]=='1') && (teste_char[2]=='0') && (teste_char[3]=='6')){
    //se os 4 primeiros caracteres são 4106

    valid=true;
    //velocidade_retries=0; //reseta para 0 tentativas
    //velocidade_error_flag=false; //flag de erro falso

    //Cálculo:
    String shortTrimHex(teste_char[4]);
    String shortTrimHex2(teste_char[5]);
    String shortTrimHexTotal=shortTrimHex+shortTrimHex2;
    int DecimalDecode=hexToDec(shortTrimHexTotal);
    shortTrim=round((float(DecimalDecode)/128)*100)-100; //Arredonda e devolve valor final
    correctAns=true;

}else {

```

```

        Serial.println("STrimError New Attempt");
    }
    default:
        Serial.println("No Case");
    }
}

//-----//
//-----Conversão Hex to Dec-----//
//-----//

unsigned int hexToDec(String hexString)
unsigned int decValue = 0;
int nextInt;
boolean valid=true;

for (int i = 0; i < hexString.length(); i++) {
    nextInt = int(hexString.charAt(i));
    if (nextInt >= 48 && nextInt <= 57) nextInt = map(nextInt, 48, 57, 0, 9);
    else if (nextInt >= 65 && nextInt <= 70) nextInt = map(nextInt, 65, 70, 10, 15);
    else if (nextInt >= 97 && nextInt <= 102) nextInt = map(nextInt, 97, 102, 10, 15);
    else valid=false;

    if (valid==true){
        nextInt = constrain(nextInt, 0, 15);
        decValue = (decValue * 16) + nextInt;
    }
}
return decValue;
}
//-----//
//-----Algoritmo de troca -----//
//-----de marchas-----//
//-----//

void gear_shift(){
boolean gear_up, gear_down;

if (gear==1 && rpm>3200){
    gear_up=true;
    gear_down=false;
}
if (throttle==fimin && velocidade>40){
    if (rpm>min_rpm){
        gear_up=false;
        gear_down=false;
    }
}
}
if (gear>0){

```

```

if (throttle==fmin && rpm>min_rpm){
    gear_up=false;
    gear_down=false;
}else if(load<=lconst && throttle<=fconst){
    if (rpm<=min_rpm){
        if (gear==2){
            gear_up=false;
            gear_down=false;
        }else {
            gear_up=false;
            gear_down=true;
        }
    }else {
        gear_up=false;
        gear_down=false;
    }
}else if(load>=lmax && throttle>=fimax){
    if(rpm<max_rpm){
        gear_up=false;
        gear_down=false;
    }else {
        gear_up=true;
        gear_down=false;
    }
}else if(gear!=5 && velocidade>80){
    gear_up=true;
    gear_down=false;
}else if(velocidade>=40 && velocidade<=80){
    if(throttle>0){
        if(gear==5){
            if ((load/throttle)>=lfi_ratio){
                gear_up=false;
                gear_down=false;
            } else {
                gear_up=false;
                gear_down=true;
            }
        }
        }else if(gear==4){
            if ((load/throttle)>=lfi_ratio){
                gear_up=false;
                gear_down=false;
            } else {
                gear_up=true;
                gear_down=false;
            }
        }
        }else if(gear==3){
            if ((load/throttle)>=lfi_ratio){
                gear_up=false;
                gear_down=false;
            } else {

```

```
    gear_up=true;
    gear_down=false;
  }
}
}else if(gear==3){
  if ((load/throttle)>=lfi_ratio){
    gear_up=false;
    gear_down=false;
  } else {
    gear_up=false;
    gear_down=true;
  }
}else if(rpm>min_rpm){
  gear_up=true;
  gear_down=false;
}else {
  gear_up=false;
  gear_down=true;
}

}else {
  gear_up=false;
  gear_down=false;
}

if (gear_up==true){
  digitalWrite(2, HIGH);
}else digitalWrite(2, LOW);
if (gear_down==true){
  digitalWrite(3, HIGH);
}else digitalWrite(3, LOW);
}
```