



Estudo sobre a metodologia aplicada em testes de veículos utilizando combustíveis de baixo carbono

Mestrado em Engenharia Automóvel

Nuno José Pires Clara

Leiria, julho de 2024



Estudo sobre a metodologia aplicada em testes de veículos utilizando combustíveis de baixo carbono

Mestrado em Engenharia Automóvel

Nuno José Pires Clara

Projeto Automóvel de Mestrado realizado sob a orientação do Professor Doutor João Francisco Romeiro da Fonseca Pereira da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Leiria e coorientação do Professor Doutor Luís Manuel Ventura Serrano da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Leiria.

Leiria, julho de 2024

Originalidade e Direitos de Autor

O presente Projeto Automóvel é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Automóvel, no ano letivo 2023/2024, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo a análise da metodologia aplicada em testes de veículos, utilizando combustíveis de baixo carbono, com o intuito de aumentar a precisão dos resultados obtidos na realização destes testes. Para atingir estes objetivos procedeu-se à identificação de eventuais fontes de desvio e correspondente introdução de possíveis ações de melhoria na qualidade desses resultados. Foram analisados testes laboratoriais e em estrada, com o objetivo de investigar os efeitos de introdução de pequenas incorporações de combustível renovável, garantindo contribuir para garantir maior sustentabilidade e apresentando uma utilização inovadora no funcionamento dos veículos, permitindo avaliar o seu desempenho, emissões e efeitos nos componentes do motor. A metodologia abrangeu ensaios em dinamómetro e em condições reais de utilização, com foco na análise comparativa entre gasolina e diesel. Para assegurar a conformidade e a validação dos resultados, foram realizados ciclos WLTC classe 3b, durante os quais se efetuou a medição do consumo de combustível e a obtenção de dados do dinamómetro e do funcionamento do veículo. Adicionalmente, foram realizados testes de desempenho para uma avaliação relativa dos resultados, permitindo ainda a comparação com os padrões estabelecidos pelo fabricante. Os veículos foram ainda submetidos a ensaios em condições reais de utilização, sob diversas condições rodoviárias e ambientais, percorrendo trajetos correspondendo a mais de 20k km. Durante estes testes, foram efetuadas verificações regulares para monitorar o funcionamento do veículo e recolher dados relevantes, como amostras de óleo lubrificante e análise de componentes do motor. Esta etapa permitiu validar os resultados obtidos em laboratório e avaliar o desempenho dos veículos ao longo do tempo. Através da análise das condições de funcionamento dos veículos, observou-se que o horário de realização dos ensaios influencia a temperatura do ar admitido pelo motor, uma vez que o laboratório não está climatizado, podendo afetar o consumo de combustível, o desempenho e as emissões de CO₂. Foi ainda possível detetar algumas diferenças nos testes de desempenho, que se verificou poderem estar associadas a alterações na pressão de ar no coletor de admissão, identificadas através da análise dos dados obtidos pela OBD (*On-Board Diagnostics*). As análises dos testes em estrada permitiram concluir que, tendo o veículo operado maioritariamente em regime misto e em autoestrada, com apenas cerca de 10% do tempo dedicado ao regime urbano, foi possível constatar um aumento de aproximadamente 0,5L/100 km entre o consumo registado no "quadrante" do veículo e o consumo calculado com base nos quilómetros percorridos e

no número de litros abastecidos. Apesar das limitações encontradas, este estudo oferece uma contribuição valiosa para a avaliação dos combustíveis de baixo carbono, sublinhando a necessidade de abordagens metodológicas mais rigorosas e abrangentes em pesquisas futuras para melhor compreender o seu impacto em condições reais de operação.

Palavras-chave: Qualidade dos resultados dos testes em estrada. Banco de rolos para ensaio de veículos. WLTP. Ciclos de condução. Testes em estrada. Testes em laboratório. Biocombustíveis.

Abstract

The present study aimed to analyse the methodology applied in vehicle testing using low-carbon fuels to increase the accuracy of the results obtained in these tests. To achieve these objectives, potential sources of deviation were identified and possible actions to improve the quality of these results were introduced. Both laboratory and on-road tests were analysed to investigate the effects of introducing small incorporations of renewable fuel, ensuring greater sustainability and presenting an innovative use in vehicle operation, allowing for the evaluation of performance, emissions, and effects on engine components. The methodology encompassed dynamometer tests and real-world conditions, with a focus on the comparative analysis between gasoline and diesel. To ensure compliance and validation of the results, WLTC class 3b cycles were performed, during which fuel consumption was measured, and data from the dynamometer and vehicle operation were obtained. Additionally, performance tests were conducted for a relative assessment of the results, allowing for comparison with the standards established by the manufacturer. The vehicles were also subjected to tests under real-world conditions, covering various road and environmental conditions, with routes totaling more than 20k km. During these tests, regular checks were carried out to monitor vehicle performance and collect relevant data, such as lubricant oil samples and analysis of engine components. This phase validated the laboratory results and evaluated the vehicles' performance over time. Through the analysis of the vehicles' operating conditions, it was observed that the time of day when the tests were conducted influenced the intake air temperature, as the laboratory is not climate-controlled, potentially affecting fuel consumption, performance, and CO₂ emissions. Some differences in performance tests were also detected, which were found to be possibly associated with changes in air pressure in the intake manifold, identified through data analysis obtained by the On-Board Diagnostics (OBD). The on-road tests revealed that, with the vehicle operating mainly in mixed and highway conditions, with only about 10% of the time in urban settings, there was an approximate increase of 0.5l/100km between the consumption recorded on the vehicle's dashboard and the consumption calculated based on kilometers travelled and liters of fuel refilled. Despite the limitations encountered, this study offers a valuable contribution to the evaluation of low-carbon fuels, highlighting the need for more rigorous and comprehensive methodological approaches in future research to better understand their impact under real-world operating conditions.

Keywords: Quality of results from road tests. Roller bench for vehicle testing. Dynamometer. WLTP. Driving cycles. Road tests. Laboratory tests. Biofuels.

Índice

ORIGINALIDADE E DIREITOS DE AUTOR.....	1
RESUMO.....	2
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE GRÁFICOS	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. <i>Enquadramento.....</i>	15
1.2. <i>Objetivos e Metodologia</i>	16
1.3. <i>Estrutura do trabalho.....</i>	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. <i>Dinamómetro para testes de motores</i>	18
2.1.1. <i>Visão geral dos bancos de ensaios para veículos</i>	19
2.2. <i>Ciclos de condução normalizados.....</i>	20
2.2.1. <i>Antecedentes ao WLTP.....</i>	21
2.3.1. <i>Ciclo de condução WLTP.....</i>	23
2.3. <i>Influência de parâmetros externos em banco de ensaio de veículos</i>	26
2.4. <i>Sistema elétrico</i>	26
2.5. <i>Comportamento do condutor.....</i>	29
2.6. <i>Fatores Procedimentais.....</i>	32
2.7. <i>Ensaio em Dinamómetro</i>	40
2.7.1. <i>Testes de desempenho – testes contínuos e testes discretos</i>	41
2.8. <i>Ensaio em Estrada</i>	41
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	46
3.1. PLANO/CRONOLOGIA DE TRABALHOS	46
3.1.1. <i>Diesel</i>	46
3.1.2. <i>Gasolina.....</i>	47
3.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	50
3.2.1. <i>Seleção de veículos para o estudo</i>	51
3.2.2. <i>Dinamómetro MAHA LPS 3000.....</i>	53
3.2.3. <i>Descrição de funcionamento</i>	55
3.2.4. <i>Testes realizados no dinamómetro.....</i>	56
3.2.5. <i>Testes de desempenho – testes contínuos e testes discretos</i>	57
3.2.6. <i>Medição de consumo de combustível.....</i>	58
3.2.7. <i>Consumo de combustível – ciclo WLTP.....</i>	60
3.2.8. <i>Consumo de combustível em estrada.....</i>	61
3.2.9. <i>Sistema de aquisição de dados com ligação OBD II e GPS.....</i>	63
3.2.10. <i>Testes em Estrada.....</i>	65
3.2.11. <i>Percursos em estrada</i>	66
3.2.12. <i>Monitorização de parâmetros de funcionamento do veículo.....</i>	67

4. VALIDAÇÃO DE RESULTADOS.....	72
4.1. TESTES WLTP – DINAMÓMETRO	73
4.1.1. Diesel.....	73
4.1.2. Gasolina	77
4.2. FATORES EXTERNOS/CONTROLO DE VARIÁVEIS	80
4.2.1. Diesel.....	81
4.2.2. Gasolina	84
4.3. MEDIÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL – CICLO WLTP.....	87
4.3.1. Diesel.....	87
4.3.2. Gasolina	90
4.4. TESTES DE DESEMPENHO – DINAMÓMETRO.....	91
4.4.1. Diesel.....	91
4.4.2. Gasolina	96
4.5. TESTES DE CONSUMO EM ESTRADA.....	100
5. CONCLUSÃO	103
5.1. CONCLUSÕES PARA VEÍCULO A DIESEL	103
5.2. CONCLUSÕES PARA VEÍCULO A GASOLINA	103
5.3. DISCUSSÃO DAS IMPLICAÇÕES	105
5.4. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHO FUTURO.....	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

Lista de Figuras

Figura 1: Exemplo de banco de ensaio de veículos (Yang, Deng, Deng, & Huang, 2018).....	19
Figura 2: Representação dos 15 modos de operação do ciclo de condução ECE-15. Adaptado de: (Giakoumis, 2017)	22
Figura 3: Comparação entre os ciclos de condução NEDC e ECE-15+EUDC. Adaptado de: (Giakoumis, 2017)	23
Figura 4: Ciclo WLTC classe 3b. Adaptado de: (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure, 2024)	24
Figura 5: Tolerâncias de velocidades estabelecidas para o ciclo WLTC (Mazer, 2020).....	25
Figura 6: Efeito no consumo de combustível medido consoante o parâmetro avaliado. Adaptado de: (C. J. Brace, 2009).....	28
Figura 7: Exemplo do tipo de exibição gráfica do auxílio de velocidade ao motorista com linhas de tolerância. Adaptado de: (Chappell, 2015).	29
Figura 8: Diagrama demonstrativo do desalinhamento de um veículo num banco de ensaio de veículos. Adaptado de: (C. J. Brace, 2009).	33
Figura 9: Gráfico do efeito combinado de fatores relacionados aos pneus na resistência ao rolamento medida pelo tempo de desaceleração e consumo de combustível gravimétrico. Adaptado de: (C. J. Brace, 2009).	34
Figura 10: Efeito da temperatura ambiente nas emissões de CO ₂ durante o arranque a frio nos ciclos WLTC e NEDC. Adaptado de: (Dornoff & Rodríguez, 2019)	37
Figura 11: Efeito da temperatura do líquido de refrigeração nas emissões de CO ₂ – Comparação entre Golf TDI e Golf TSI para os ciclos NEDC e WLTC a 23°C. Adaptado de: (Dornoff & Rodríguez, 2019).....	38
Figura 12: Níveis de emissão de CO ₂ do Golf TDI e Golf TSI. Adaptado de: (Dornoff & Rodríguez, 2019).45	
Figura 13 - Esquema global da montagem experimental efetuada.....	51
Figura 14 - Imagem do banco de ensaio de veículos instalado no Laboratório de Engenharia Automóvel do Instituto Politécnico de Leiria.	54
Figura 15 - Princípio de medição da potência com banco de ensaios de rolo utilizando um dinamómetro com funcionamento magnético (Fonseca Pereira, 2001).	55
Figura 16: Equipamentos da montagem experimental para medição de consumos de combustível.	59
Figura 17: Sistema utilizado para medição do consumo e temperatura de combustível nos ensaios realizado em dinamómetro.	60
Figura 18: Interface do software de registo de dados e tratamento de dados em Excel.	64
Figura 19: Dispositivo <i>data logger</i> instalado no veículo de testes (Electronics, 2024).	65
Figura 20: Documento de registo do tipo de percursos efetuados em estrada.....	65
Figura 21: Percursos efetuados em estrada de agosto a dezembro (Semana 33 a 52) de 2023 (<i>data logger</i>). .66	

Figura 22: Valores médios, máximos e mínimos da temperatura ambiente em Castelo Branco (Beira Interior) durante o mês de agosto (meteoblue, 2023). 70

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Tipologia dos percursos nos testes de estrada (julho, agosto e setembro, semanas 27-31, 31-35 e 35-39 respetivamente - registos do condutor.	67
Gráfico 2: Valores médios e máximos de temperatura do motor em cada semana do estudo (OBD).....	68
Gráfico 3: Valores médios e máximos de temperatura de óleo do motor em cada semana (OBD).	69
Gráfico 4: Valores médios e máximos de temperatura ambiente em cada semana do estudo (OBD).....	70
Gráfico 5: Valores médios e máximos de rotação do motor e velocidade média do veículo em cada semana do estudo (OBD).	71
Gráfico 6: Diferença percentual da média das velocidades instantâneas dos ensaios realizados com 0k km comparativamente ao padronizado.	74
Gráfico 7: Diferença percentual da média das velocidades dos ensaios realizados com 20k km comparativamente ao padronizado.	75
Gráfico 8: Diferença da média da velocidade dos ensaios realizados ao veículo a diesel com 0k km comparativamente ao ciclo padronizado.	76
Gráfico 9: Diferença da média da velocidade dos ensaios realizados ao veículo a diesel com 20k km comparativamente ao ciclo padronizado.	76
Gráfico 10: Diferença percentual da média das velocidades dos ensaios realizados com 15k km comparativamente ao padronizado.	78
Gráfico 11: Diferença percentual da média das velocidades dos ensaios realizados com 30k km comparativamente ao padronizado.	79
Gráfico 12: Diferença da média da velocidade dos ensaios realizados ao veículo a gasolina com 15k km comparativamente ao ciclo padronizado.	79
Gráfico 13: Diferença da média da velocidade dos ensaios realizados ao veículo a gasolina com 30k km comparativamente ao ciclo padronizado.	80
Gráfico 14: Comparação dos fluxos de ar mássicos admitidos para o veículo a diesel.	83
Gráfico 15: Comparação dos fluxos de combustível para o veículo a diesel.	84
Gráfico 16: Comparação entre FRPA e EFR no ensaio T3 aos 30k km.....	87
Gráfico 17: Comparação do consumo instantâneo de combustível entre os 3 ciclos WLTC realizados no ensaio com 20k km para a viatura a diesel.	88
Gráfico 18: Comparação das temperaturas à saída do catalisador durante os 3 ciclos WLTC realizados no ensaio com 20k km para a viatura a diesel.	89
Gráfico 19: Curvas de Potência e Binário obtidas em testes discretos para as diferentes fases.	91
Gráfico 20: Comparação dos binários obtidos nos testes discretos para 10k e 20k km.	92
Gráfico 21: Curvas de binário médio obtidas em testes discretos para as diferentes fases.	94

Estudo sobre a metodologia aplicada em testes de veículos utilizando combustíveis de baixo carbono

Gráfico 22: Curvas de potência e binário obtidas em testes contínuos para o veículo a diesel.	95
Gráfico 23: Curvas de potência e binário obtidas em testes discretos para as diferentes fases.	96
Gráfico 24: Curvas de potência e binário obtidas em testes contínuos para o veículo a gasolina.	99
Gráfico 25: Comparação dos resultados de consumo de combustível obtidos em estrada entre os meses de julho e dezembro.	101

Lista de tabelas

Tabela 1: Classificação do ciclo WLTC para veículos ligeiros. (Mazer, 2020).....	24
Tabela 2: Parâmetros teóricos do ciclo WLTC classe 3b. (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure, 2024).....	25
Tabela 3: Resumo do efeito das variáveis em estudo.....	40
Tabela 4: Descrição cronológica dos trabalhos.....	47
Tabela 5: Descrição cronológica dos trabalhos - Parte 1 - Ensaios laboratoriais iniciais.....	48
Tabela 6: Descrição cronológica dos trabalhos - Parte 2 - ensaios de estrada (30k km).....	49
Tabela 7: Representação esquemática da sequência cronológica dos trabalhos.....	50
Tabela 8 - Características do veículo diesel usado nos ensaios.....	51
Tabela 9: Características do veículo (de acordo com os dados do fabricante). Fonte: Documentação técnica fornecida pela concessionária.	52
Tabela 10 - Resumo das características do banco de ensaio de veículos usado. (MAHA, 2021)	54
Tabela 11: Sequência dos ensaios WLTP e desempenho.....	56
Tabela 12: Pontos de rotação escolhidos para realizar os testes discretos.	58
Tabela 13: Folha de registo de abastecimentos referentes ao mês de agosto, para o veículo a gasolina.....	61
Tabela 14: Valores usados para o cálculo do consumo de combustível entre abastecimentos, para o veículo a gasolina.	62
Tabela 15: Cálculo do consumo mensal em estrada.....	63
Tabela 16: Diferença da velocidade média atingida em cada perfil de velocidade dos vários ensaios relativamente ao ciclo padrão para o veículo a diesel.	73
Tabela 17: Diferença da velocidade média atingida em cada perfil de velocidade dos vários ensaios relativamente ao ciclo padrão para o veículo a gasolina.	77
Tabela 18: Comparação entre OBD II e dinamómetro dos dados de temperatura ambiente e pressão atmosférica para o veículo a diesel.	81
Tabela 19: Parâmetros de análise do veículo a diesel registados via porta OBD II.	83
Tabela 20: Comparação entre OBD II e dinamómetro dos dados de temperatura ambiente e pressão atmosférica para o veículo a gasolina.	85
Tabela 21: Parâmetros de análise do veículo a gasolina registados via porta OBD.	86
Tabela 22: Comparação do consumo de combustível no veículo diesel entre ensaios dentro de cada ciclo.	88
Tabela 23: Comparação do consumo de combustível no veículo diesel entre ensaios dentro de cada ciclo à exceção dos valores afetados pela regeneração do filtro de partículas.....	89

Estudo sobre a metodologia aplicada em testes de veículos utilizando combustíveis de baixo carbono

Tabela 24: Comparação do consumo de combustível no veículo a gasolina entre ensaios dentro de cada ciclo.	90
Tabela 25: Comparação da média de binário obtida para os ensaios de 10k e 20k km.	93
Tabela 26: Comparação de parâmetros obtidos via OBD do veículo a diesel para a rotação de 1750 RPM...	93
Tabela 27: Binário obtido nos testes discretos com 10k km, juntamente com a média e incerteza correspondente.....	94
Tabela 28: Binário obtido nos testes discretos, juntamente com a média e incerteza correspondente.	97
Tabela 29: Comparação de parâmetros obtidos via OBD do veículo a gasolina para a rotação de 2260 RPM.	97
Tabela 30: Resultados do consumo de combustível em estrada.	101

Lista de siglas e acrónimos

2WD	<i>Two-wheel drive</i>
4WD	<i>Four-wheel drive</i>
CEE	Comunidade Económica Europeia
CO ₂	Dióxido de Carbono
ECT	<i>Engine Coolant Temperature</i>
EEC	<i>European Economic Community</i>
EFR	<i>Engine Fuel Rate</i>
EOT	<i>Engine Oil Temperature</i>
EUDC	<i>Extra Urban Driving Cycle</i>
dCi	<i>Diesel Common-rail Injection</i>
FAR	<i>Fuel/Air Commanded Equivalence Ratio</i>
FRPA	<i>Fuel Rail Pressure Absolute</i>
GDI	<i>Gasoline Direct Injection</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRPE	Grupo de Trabalho sobre Poluição e Energia
HA	Humidade do Ar
IAT	<i>Intake Air Temperature</i>
IMAP	<i>Intake Manifold Absolute Pressure</i>
MAFR	<i>Mass air flow ratio</i>
MCI	Motor de Combustão Interna
NEDC	<i>New European Driving Cycle</i>
OBD	<i>On-Board Diagnostics</i>
PA	Pressão Atmosférica
PEMS	<i>Portable Emissions Measurement Systems</i>
RDE	<i>Real Driving Emissions</i>
TA	Temperatura Ambiente
TAA	Temperatura de Ar Admitido
TCe	<i>Turbo Control Efficiency</i>
TDI	<i>Turbocharged Direct Injection</i>
TSI	<i>Turbocharged Stratified Injection</i>
UNECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>
WLTC	<i>Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycles</i>
WLTP	<i>Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure</i>
WOT	<i>Wide Open Throttle</i>

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Nas últimas décadas, a crescente preocupação com as mudanças climáticas e a sustentabilidade ambiental tem impulsionado a busca por alternativas aos combustíveis fósseis tradicionais. A dependência mundial de combustíveis fósseis não só contribui significativamente para o aquecimento global através da emissão de gases de efeito estufa, mas também causa uma série de problemas ambientais e de saúde pública devido à poluição do ar. Combustíveis de baixo carbono, que são combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis e que emitem menos dióxido de carbono (CO₂) durante a sua combustão, têm se destacado como uma solução promissora. Estes combustíveis contribuem para a redução das emissões de gases poluentes e aumentam a eficiência energética, alinhando-se aos objetivos globais de sustentabilidade e mitigação das mudanças climáticas. Este estudo insere-se neste contexto, com o objetivo de analisar a metodologia aplicada em testes de veículos que utilizam combustíveis de baixo carbono, visando melhorar a precisão dos resultados obtidos, destacando as seguintes motivações:

1. Avaliação de Desempenho em Condições Reais:

A maioria dos estudos existentes sobre combustíveis de baixo carbono concentra-se em testes de laboratório. No entanto, há uma lacuna significativa na compreensão de como estes combustíveis se comportam em condições reais de operação. Este estudo visa preencher esta lacuna, fornecendo dados detalhados e precisos que podem informar políticas públicas e decisões industriais.

2. Melhoria das Metodologias de Teste:

As metodologias atuais de teste de veículos muitas vezes não conseguem capturar todas as variáveis que influenciam o desempenho e as emissões. Este trabalho procura identificar e mitigar estas variáveis, propondo melhorias nos métodos de teste para obter resultados mais confiáveis e repetíveis.

3. Contribuição para a Sustentabilidade:

Este trabalho também é motivado pelo desejo de contribuir para práticas mais sustentáveis no setor automóvel, explorando o potencial dos combustíveis renováveis para diminuir a pegada ecológica dos veículos.

1.2. Objetivos e Metodologia

Este estudo apresenta um trabalho de investigação sobre a metodologia aplicada em testes de veículos utilizando combustíveis de baixo carbono, com o objetivo de avaliar a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos durante a realização destes testes.

Ao analisar a metodologia aplicada, procurou-se identificar possíveis fontes de desvio e implementar ações de melhoria que visam contribuir para o aumento da qualidade e consistência dos resultados. Isto é essencial não apenas para validar a eficácia destes combustíveis de baixo carbono, mas também para garantir a conformidade com os regulamentos ambientais e impulsionar a adoção de tecnologias mais limpas e sustentáveis no setor automóvel.

Ao longo deste estudo, serão explorados testes laboratoriais e em estrada, permitindo uma avaliação abrangente dos efeitos da introdução de pequenas concentrações desses combustíveis inovadores no desempenho dos veículos. Por meio deste trabalho, pretende-se contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia robusta e padronizada para avaliar o desempenho de veículos utilizando combustíveis de baixo carbono, proporcionando assim uma base sólida para futuras pesquisas e iniciativas de desenvolvimento no campo da mobilidade sustentável.

1.3. Estrutura do trabalho

Este relatório está organizado em cinco capítulos. No primeiro capítulo, é apresentada a introdução, seguida pela revisão bibliográfica no segundo capítulo, onde são discutidos os conceitos teóricos e estudos anteriores relacionados ao tema. O terceiro capítulo descreve a metodologia experimental, incluindo os equipamentos e procedimentos utilizados. O quarto capítulo apresenta a validação dos resultados obtidos, e o quinto capítulo conclui o estudo com uma discussão das principais conclusões e recomendações para trabalhos futuros. De seguida, está apresentado o anteriormente descrito, de forma mais detalhada.

Capítulo 1: Introdução

Neste capítulo, enquadra-se o leitor no tema do projeto e descrevem-se, tanto os objetivos, como a abordagem utilizada no trabalho.

Capítulo 2: Revisão Bibliográfica

Este capítulo oferece uma revisão abrangente da literatura relacionada com a utilização de dinamômetros de chassis, ciclos de condução normalizados, influência de parâmetros externos nos ensaios laboratoriais, ensaios em estrada e finalmente será apresentado o caso de estudo que será objeto deste trabalho.

Capítulo 3: Metodologia Experimental

São descritos neste capítulo os detalhes da metodologia experimental utilizada neste estudo, incluindo os procedimentos de teste em laboratório e em estrada, instrumentação, condições de teste e análise de dados.

Capítulo 4: Validação de Resultados

Este capítulo apresenta e analisa os resultados obtidos durante os testes de veículos, destacando as principais descobertas e tendências observadas.

Capítulo 5: Conclusões

Finalmente, no último capítulo, apresentam-se as conclusões retiradas deste estudo, discutindo as implicações dos resultados, limitações do estudo e sugestões para futura investigação.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Dinamómetro para testes de motores

Segundo (Anthony Martyr, 2012), a ideia de submeter um veículo a testes num dinamómetro teve as suas origens nos engenheiros das locomotivas ferroviárias. O último comboio a vapor construído no Reino Unido, por exemplo, passou por testes em um dinamómetro de múltiplos rolos. Posteriormente, esta ideia foi adotada também para veículos ligeiros, impulsionada principalmente pela rápida evolução das regulamentações de emissões de poluentes destes veículos durante os anos setenta, aquando da criação do primeiro ciclo de condução na Europa.

A adoção destes testes em dinamómetro em automóveis está focada nas seguintes áreas de desenvolvimento (Anthony Martyr, 2012):

- *Técnico*: a necessidade de aperfeiçoar o motor, transmissão e restantes componentes que são exigidos pelo usuário moderno das estradas, o desempenho económico e repetível dos testes de resistência, investigações de ruído, vibração, testes de emissões, verificação do desempenho em condições climáticas extremas, etc.
- *Legislativo*: a necessidade de cumprir requisitos legais cada vez mais rigorosos que regem tanto os novos veículos quanto o mercado de pós-venda em áreas como segurança de veículos, desempenho de travões, vibração, compatibilidade eletromagnética, consumo de combustível e, predominando sobre todas as outras tarefas, emissões de gases de escape.

O dinamómetro é um equipamento que permite medir a potência, ou seja, o trabalho realizado pelo motor por unidade de tempo em diferentes condições de operação. O dinamómetro de absorção é amplamente utilizado e tem como principal função absorver a energia gerada pelo motor. Estes dinamómetros de absorção dividem-se em duas categorias distintas: os dinamómetros de chassis que efetuam a medição da potência na roda e os de motor que fazem a medição de potência disponibilizada diretamente pela cambota. Também a medição de emissões de gases de escape geralmente refere-se a testes realizados num destes dinamómetros de absorção em laboratório, sob condições controladas, dado que, sob estas condições, as medições realizadas permitem assegurar uma boa repetibilidade e precisão.

Quando o foco do estudo passa a ser um veículo leve, considerando todos os sistemas interligados ao automóvel, o teste em banco de rolos para ensaio de veículo, como ilustrado na Figura 1, surge como a solução mais apropriada. Este tipo de dinamômetro permite:

- Conhecer a eficiência dos demais sistemas do conjunto.
- Realizar análises de emissões, segundo ciclos padronizados.

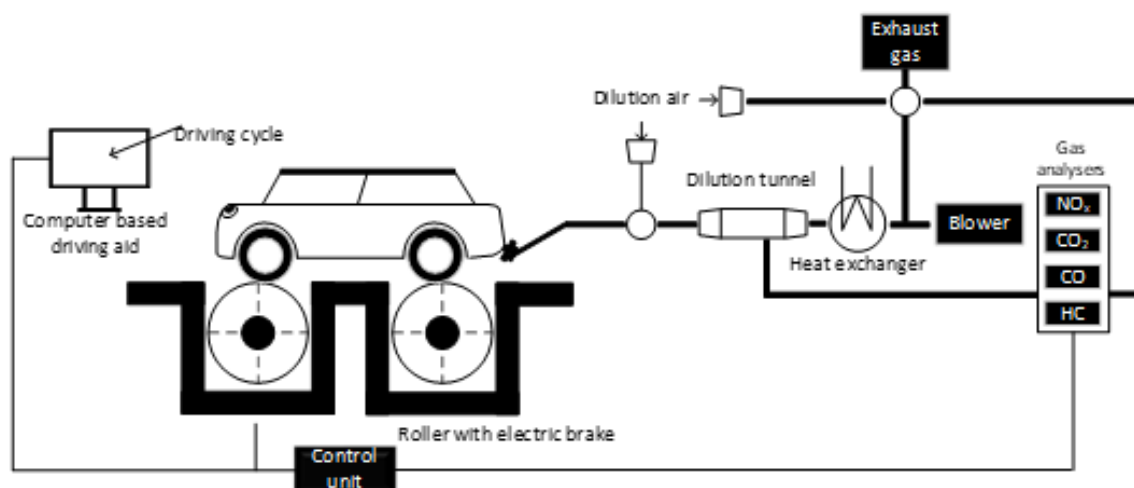


Figura 1: Exemplo de banco de ensaio de veículos (Yang, Deng, Deng, & Huang, 2018).

2.1.1. Visão geral dos bancos de ensaios para veículos

Os ensaios realizados utilizando um banco de rolos para ensaio de veículos envolvem a simulação de impactos de carga resistiva na estrada, incluindo aerodinâmica e perdas na transmissão, entre outros fatores, que são impostas ao motor do veículo em teste. Embora os impactos de carga reais nas rodas possam variar consideravelmente, os testes em banco de ensaio de veículos fornecem resultados com um grau razoavelmente elevado de precisão das emissões durante os ciclos de condução padrão que estão a ser seguidos.

Um sistema típico de banco de ensaio de veículos consiste num freio acoplado a um sistema de transmissão que ligam diretamente aos cubos das rodas do veículo ou a um conjunto de rolos, que suportam o peso do veículo. O sistema de banco de ensaio de veículos pode ser do tipo tração nas quatro rodas (4WD) ou tração nas duas rodas (2WD), sendo que conjuntos de rolos separados são utilizados para cada eixo motriz do veículo. Durante o ensaio, um condutor ou um robot opera o veículo, que permanece estacionário (com as rodas e rolos em rotação), seguindo um perfil de velocidade *versus* tempo predefinido e um padrão de relações de caixa específico. Este perfil de velocidade *versus* tempo e o padrão de mudança

de velocidade, baseados num ciclo de condução e veículo, são normalmente apresentados num monitor colocado à frente do condutor, que ajusta meticulosamente o perfil velocidade real do veículo dentro das tolerâncias estabelecidas pelo perfil de velocidade predefinido (Wen G. Wang, 1997) (R. D. Nine, 1999) (Janet Yanowitz, 2000). Portanto, os operadores de laboratório conseguem controlar a carga aplicada ao veículo através dos rolos de forma variável, mas contínua. Os gases de escape do veículo podem ser continuamente recolhidos em sistemas próprios para posterior análise, como análise química, ou diluídos com ar ambiente filtrado, no qual analisadores de emissões de gases de escape, bem como diferentes equipamentos ou sistemas de medição de partículas, que são sincronizados para assegurar a medição em tempo real.

2.2. Ciclos de condução normalizados

Com o propósito de estabelecer uma estrutura legislativa para a regulamentação das emissões de substâncias poluentes provenientes de veículos automóveis, abrangendo todos os modelos disponíveis no mercado, foram desenvolvidos instrumentos que possibilitam a comparação entre os diversos tipos de veículos. Estes protocolos de avaliação, denominados ciclos de condução, desempenham um papel crucial neste contexto e procuram ser representativos da utilização normal dos veículos. Ainda que cada país tenha a autonomia para regulamentar procedimentos, padrões, limites e testes para a certificação de veículos, todos partilham um objetivo comum: a preservação e o controlo da qualidade do ar. Na Europa, o ciclo utilizado para homologação de veículos ligeiros é o WLTP (*Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure*).

O ciclo é uma sequência de pontos de funcionamento a que o motor é sujeito, cada um dos quais definido por um par de valores velocidade de rotação/binário resistente. Um ciclo de condução é executado em laboratório, utilizando um dinamómetro, e, tipicamente, representa uma série de pontos que relacionam a velocidade do veículo em função do tempo. Possibilita a avaliação do consumo de combustível do veículo considerando a utilização deste em contexto urbano, extraurbano e mistos, bem como para medir as emissões de poluentes de forma padronizada, possibilitando a comparação entre diferentes modelos de automóveis. No que diz respeito a veículos equipados com motores de combustão interna, é possível realizar medições diretas do consumo de combustível e das emissões. As emissões de substâncias poluentes provenientes do escape são recolhidas e analisadas para avaliar as taxas de emissão. Além destes testes laboratoriais, os automóveis novos são cada vez mais

sujeitos também a um procedimento experimental denominado ‘*Real Driving Emissions*’ (emissões em condições reais), que requer que os veículos sejam testados em estrada de modo que os resultados finais possam ser ainda mais representativos das condições reais de utilização (Blueauto, 2023) (Araújo, 2015). Os resultados obtidos são posteriormente divulgados pelo fabricante e devem estar em conformidade com os limites estabelecidos pelas normas da região em que este venha a ser comercializado.

2.2.1. Antecedentes ao WLTP

Na década de 70, a Europa, um epicentro mundial crucial no desenvolvimento e exportação de veículos, implementou pela primeira vez restrições aos níveis de poluentes. Por meio de diretivas, a Comunidade Económica Europeia (CEE), conhecida como *European Economic Community* (EEC) em inglês, estabeleceu limites para hidrocarbonetos não queimados e monóxido de carbono. Posteriormente, a CEE desenvolveu o primeiro ciclo de condução europeu padronizado, denominado ECE-15 (Berg, 2004). Este ciclo, ilustrado na Figura 2 e também conhecido como 'Ciclo de Condução Urbana', é um ciclo modal composto por 15 modos de operação com uma duração de 195 segundos, onde é caracterizado por segmentos de trajetória linear e um perfil de velocidade claramente definido, que se repete quatro vezes, com uma duração total de 13 minutos e uma distância percorrida de 4052 metros. Além da sua distância relativamente curta, este ciclo apresenta valores de velocidade máxima e média, de 50 km/h e 18,35 km/h, respetivamente. O desenvolvimento deste ciclo visava contemplar as condições encontradas em grandes cidades da Europa, como Paris, Roma, entre outras (Tzirakis E., 2006).

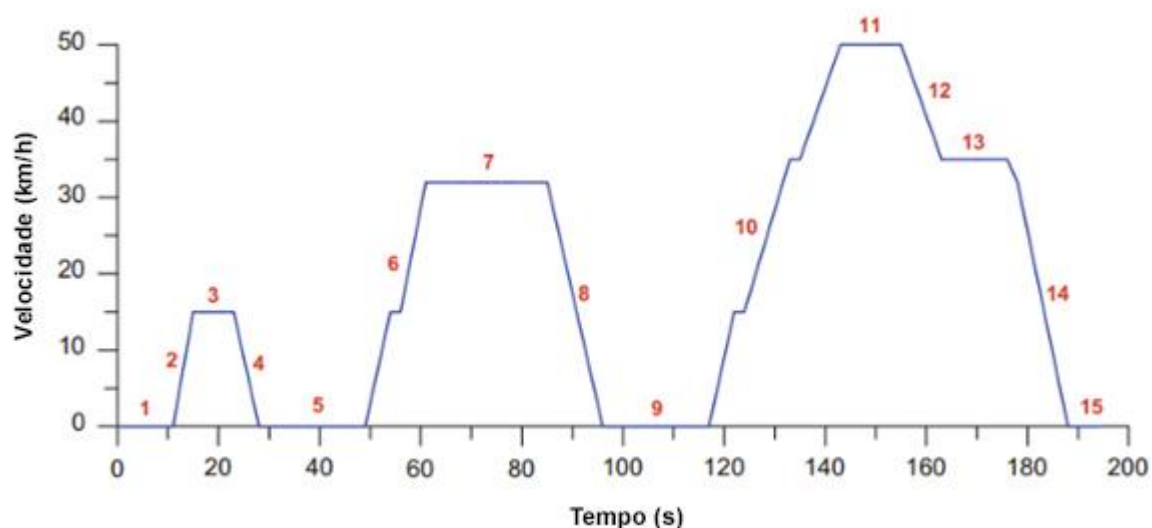


Figura 2: Representação dos 15 modos de operação do ciclo de condução ECE-15. Adaptado de: (Giakoumis, 2017)

Devido à baixa velocidade média do ciclo ECE-15, foi introduzida uma nova fase chamada de ‘*Extra Urban Driving Cycle*’ (EUDC), também do tipo modal, a partir de 1990. Assim, o ciclo de condução padrão passou a ser uma combinação que consistia em quatro repetições do ECE-15 com uma duração de 780 segundos, juntamente com a fase EUDC que tinha uma duração de 400 segundos. Percorrendo uma distância total de 10932 metros num intervalo de tempo de 1180 segundos. Esta nova fase foi introduzida com o intuito de avaliar o desempenho de um veículo ligeiro e simular as condições nas estradas com velocidades de até 120 km/h. Após 1997, foi introduzido nos procedimentos de certificação de veículos a medição de gases poluentes desde o momento de partida do veículo. Isso implica que não seria permitido um intervalo de 40 segundos para o aquecimento do motor antes das medições. Desta forma, este intervalo de tempo foi incorporado ao ciclo anterior, resultando num total de 1220 segundos com uma velocidade média e máxima de 33,35 km/h e 120,00 km/h, respetivamente. Este ciclo ficou então conhecido como ‘*New European Driving Cycle*’ (NEDC), e por mais de 20 anos foi o ciclo de condução padrão para emissões de poluentes e consumo de combustível na Europa. A Figura 3 apresenta um ciclo NEDC, onde é visível numa primeira fase os 40 segundos de aquecimento do motor, uma segunda fase denominada de “urbana”, que é a repetição dos quatro ciclos ECE e por último um segmento de “autoestrada”, que é o complemento do ciclo EUDC.

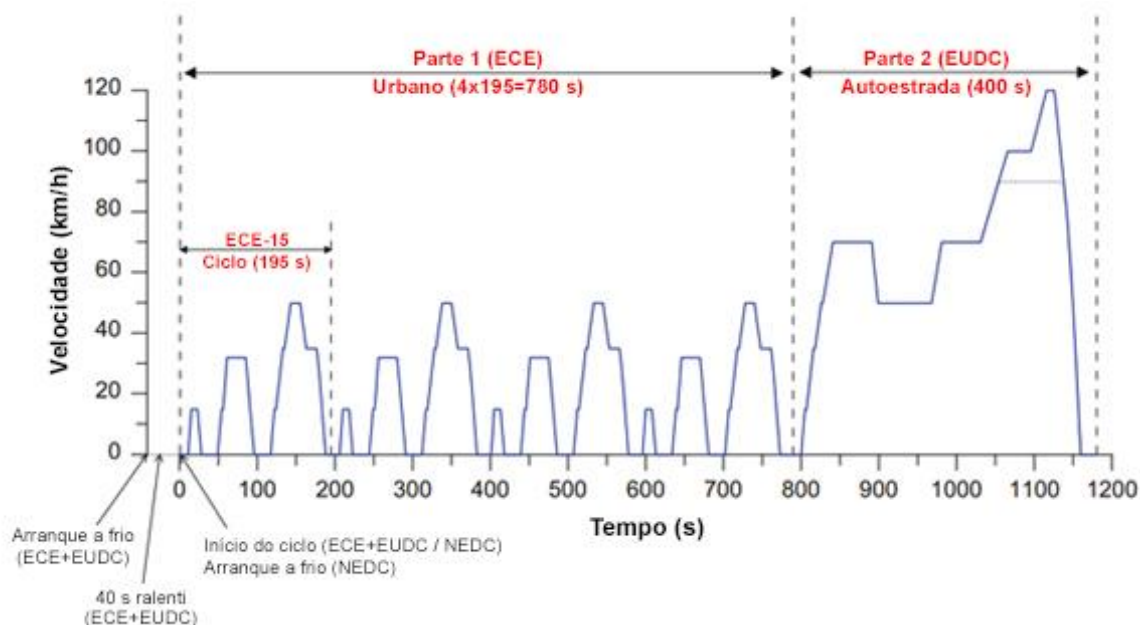


Figura 3: Comparação entre os ciclos de condução NEDC e ECE-15+EUDC. Adaptado de: (Giakoumis, 2017)

2.3.1. Ciclo de condução WLTP

Testemunhou-se então uma transição no processo de homologação de veículos devido à percepção de que o ciclo de homologação anterior, o NEDC, não era suficientemente representativo da utilização real do veículo. Por demasiado tempo, o ciclo modal NEDC, foi utilizado como padrão para avaliar o desempenho de veículos ligeiros, sendo muito repetitivo e muito estacionário, demonstrando-se desadequado e desatualizado, face ao desenvolvimento tecnológico dos veículos e dos seus motores. Assim, o *Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure* (WLTP) entrou em vigor em setembro de 2017, tornando-se obrigatório a partir de setembro de 2018 para novas homologações de veículos ligeiros de passageiros e, para os restantes veículos, a partir de setembro de 2019 em diante (ACEA, 2017).

De um modo genérico, neste novo ciclo (WLTP), o período de realização é mais extenso, decorre em cerca de 1800 segundos, e tanto a velocidade média quanto a velocidade máxima são superiores em comparação com o ciclo NEDC, alcançando 131 km/h e 47 km/h, respetivamente. Como resultado, a distância percorrida durante o teste também é consideravelmente maior, de aproximadamente 23 quilómetros contra os 11 quilómetros no NEDC (ACEA, 2017).

Numa sessão realizada em novembro de 2007, o Fórum Mundial para a Harmonização das Regulamentações de Veículos da Comissão Económica das Nações Unidas (UNECE)

estabeleceu um grupo informal sob a supervisão do Grupo de Trabalho sobre Poluição e Energia (GRPE), onde foi preparado um roteiro para o desenvolvimento deste ciclo (Nations, United Nations Treaty Collection, 2023). O propósito deste novo ciclo era que este fosse baseado em dados reais de condução obtidos em vários países do mundo, utilizando uma base de dados com informações que abrange quase 765 mil quilômetros, com o intuito de contemplar o máximo de condições diversas de condução (Monica Tutuianu, 2014). Como consequência, foram elaborados três ciclos de condução destinados a diferentes categorias de veículos leves, levando em consideração fatores como a razão entre potência e peso (W/kg) e a velocidade máxima do veículo, conforme delineado na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação do ciclo WLTC para veículos ligeiros. (Mazer, 2020)

	Razão potência/peso (W/kg)	Velocidade máxima (km/h)
WLTC classe 1	≤ 22	-
WLTC classe 2	> 22 e ≤ 34	-
WLTC classe 3a	> 34	< 120
WLTC classe 3b	> 34	≥ 120

Estes ciclos são compostos por quatro fases: baixa, média, elevada e extra elevada. A fase urbana (Baixa), uma fase intermediária que reflete situações próximas às áreas urbanas (Média), uma fase extraurbana (Elevada) e uma fase que corresponde à condução em autoestrada (Extra Elevada). A Figura 4 mostra o ciclo correspondente à categoria de veículos 3b, que é a mesma categoria do veículo de teste utilizado neste estudo.

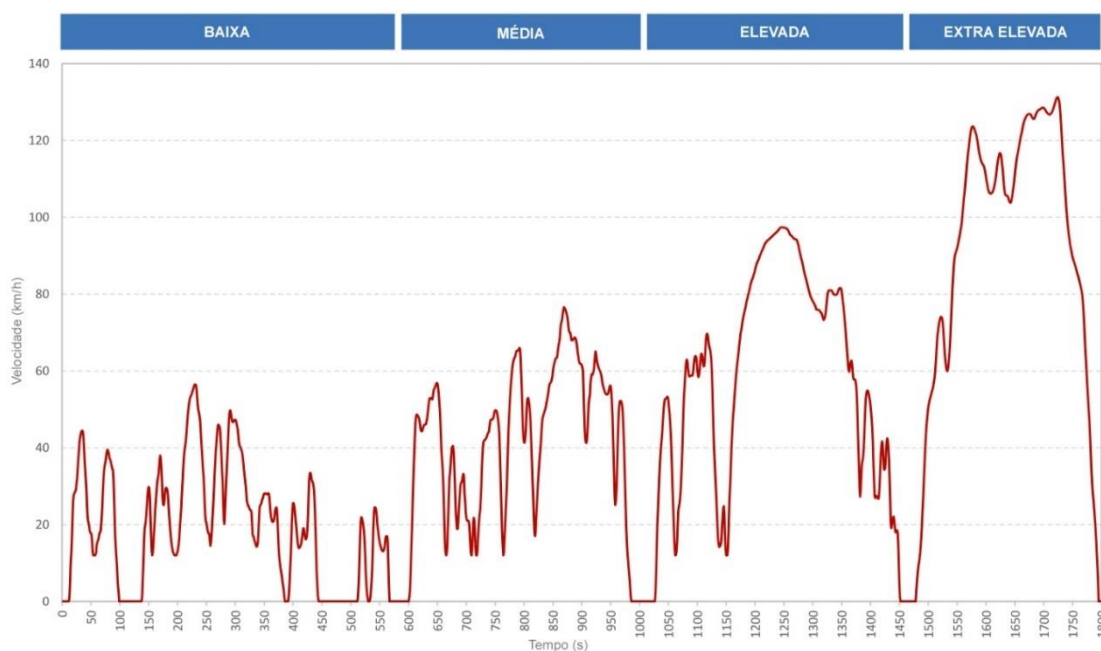


Figura 4: Ciclo WLTC classe 3b. Adaptado de: (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure, 2024)

O ciclo WLTC classe 3b tem uma duração total de 1800 segundos, distribuídos entre as fases da seguinte forma: 589 segundos na fase baixa, 433 segundos na fase média, 455 segundos na fase elevada e 323 segundos na fase extra elevada. Informações adicionais sobre alguns parâmetros teóricos podem ser encontradas na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros teóricos do ciclo WLTC classe 3b. (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure, 2024)

Ciclo WLTC classe 3b	
Duração (s)	1800
Distância percorrida (km)	23,27
Velocidade máxima (km/h)	131,30
Velocidade média (km/h)	46,51
Aceleração máxima (m/s ²)	1,67
Aceleração positiva média (m/s ²)	0,18
Desvio padrão de aceleração positiva (m/s ²)	0,32
Regime em marcha lenta (%)	14,71

No que diz respeito à realização do teste dos ciclos WLTC, são estabelecidas as seguintes margens de tolerância em relação à velocidade teórica do ciclo: uma variação máxima de 2 km/h em relação à velocidade mais alta na curva, com um intervalo de ± 1 segundo a partir do ponto de referência; e uma variação mínima de 2 km/h em relação à velocidade mais baixa na curva, também com um intervalo de ± 1 segundo do ponto de referência. O teste é considerado válido apenas se o número de infrações – quando a velocidade real não atende às tolerâncias mencionadas por mais de 1 segundo – não exceder 10 ocorrências. Na Figura 5 está exemplificado como são aplicadas as tolerâncias de velocidade no ciclo. (Mazer, 2020)

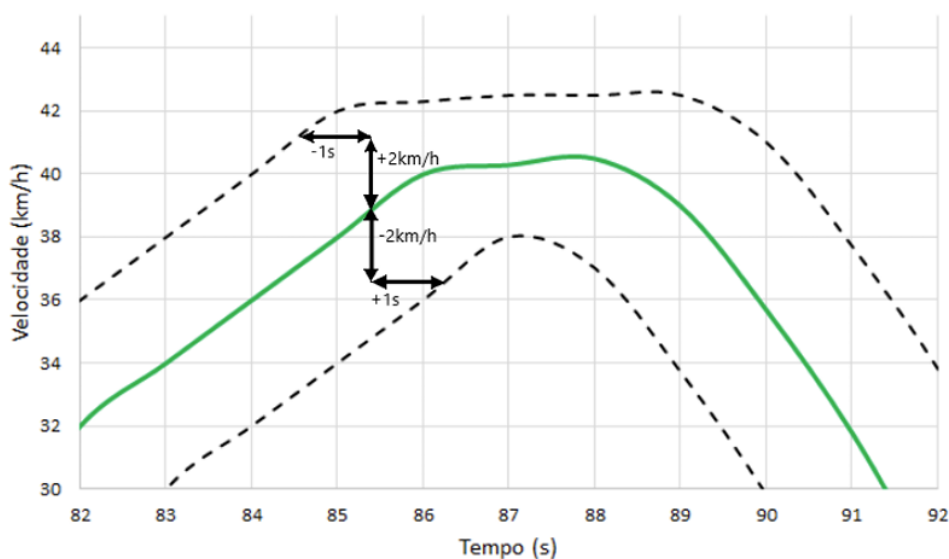


Figura 5: Tolerâncias de velocidades estabelecidas para o ciclo WLTC (Mazer, 2020).

A introdução deste ciclo, comparativamente com seu antecessor, o NEDC, representa um avanço significativo na avaliação do desempenho de novos veículos. Tal deve-se ao fato do ciclo WLTC ser mais dinâmico e abranger uma variedade maior de comportamentos transientes, consequentemente, representam de forma mais precisa o consumo de combustível e as emissões de veículos, correspondendo a uma de condução mais realista, uma vez que incorporam com maior precisão características como a duração do ciclo de testes, distância percorrida, velocidade, aceleração, desaceleração e tipo de veículo. (Giakoumis, 2017) (Blueauto, 2023).

2.3. Influência de parâmetros externos em banco de ensaio de veículos

Na realização de um ciclo de condução num banco de ensaio de veículos, existem diversas variáveis que podem representar fontes de imprecisão nos resultados de emissões ou de consumo de combustível dos veículos, devido aos vários sistemas que controlam o seu funcionamento, como ficará evidente nas seções deste subcapítulo. O objetivo desta seção foi realizar uma revisão à literatura, identificando quais desses sistemas são fontes de variabilidade nos resultados de emissões e consumos dos veículos e determinar a magnitude dos seus efeitos, de modo que os fatores possam ser avaliados.

2.4. Sistema elétrico

Os principais componentes elétricos essenciais num automóvel típico de combustão interna são o motor de arranque, iluminação, ignição e injeção, o alternador e as cargas elétricas auxiliares do veículo (P. Reasbeck, 1997) (Ulrich Adler, 1995). A função do alternador é converter a energia mecânica do motor de combustão interna em energia elétrica que pode ser usada para recarregar a bateria e/ou atender às necessidades das cargas elétricas auxiliares do veículo (Ulrich Adler, 1995).

Diversos autores demonstraram que a carga elétrica imposta ao alternador durante um teste de emissões afeta o consumo de combustível do veículo e, consequentemente, as emissões de CO₂ (Chris John Brace, 2009) (Gerrit Kadijk, 2012) (Peter Mock, 2013). Esta carga elétrica pode resultar da necessidade de recarregar a bateria do veículo, atender às necessidades dos acessórios elétricos ou cumprir alguma combinação dessas duas exigências (Peter Mock, 2013).

➤ **Sistemas elétricos auxiliares**

Os sistemas elétricos de veículos estão a tornar-se cada vez mais complexos e desempenham agora um papel importante no *design*, funcionalidade e atratividade dos veículos, o que significa que o sistema elétrico padrão do veículo deve suportar uma carga muito maior. No passado, o sistema elétrico do veículo existia puramente para funções básicas, como dar arranque do motor, ignição e iluminação do veículo (Jurgen, 1999). As tendências do mercado indicam que as arquiteturas elétricas dos veículos se tornarão ainda mais complexas nos próximos anos, à medida que os fabricantes adicionam funcionalidades como por exemplo, *cruise control* adaptativo, sistemas de anticolisão, conectividade com a internet e comunicação entre veículos. Todas estas funcionalidades provavelmente resultarão em cargas ainda maiores para o alternador em veículos com estas tecnologias. Para ensaios de emissões, de acordo com as regulamentações, as normas estabelecem que todas as cargas elétricas auxiliares possíveis devem ser desligadas durante a realização do teste (Gerrit Kadijk, 2012) (Nations, EU Regulation N°83-07,2015, 2015). Isto sugere que as cargas elétricas destes sistemas auxiliares podem ser excluídas como fonte de imprecisão. No entanto, em testes de desenvolvimento de produto, pesquisa ou em veículos protótipos, é inteiramente possível que as cargas auxiliares possam ser acionadas, sem controlo do condutor, como por exemplo um ventilador do radiador, causando mudanças inesperadas nas emissões de CO₂ do veículo. Os efeitos da ativação das cargas auxiliares podem ser muito significativos, sendo um fator-chave nas diferenças entre o consumo de combustível em condições reais e em condições de testes de laboratório (Gerrit Kadijk, 2012) (R. Simpkin, 2012). Estudos que tentaram quantificar as diferenças entre as emissões de CO₂ em testes padronizados e em condições reais registaram variações nas emissões de CO₂ na faixa de +5% a +50%, dependendo do número de acessórios e da intensidade da carga elétrica (Gerrit Kadijk, 2012).

➤ **Estado da carga da bateria**

Os efeitos do estado de carga da bateria no consumo de combustível ou nas emissões de CO₂ estão bem documentados na literatura (C. J. Brace, 2009), (Gerrit Kadijk, 2012), (P. Mock, 2014), (Helge Schmidt, 2016). Vários autores na literatura examinaram o efeito de iniciar um teste de emissões com diferentes estados de carga da bateria. Todos eles registaram efeitos no consumo de combustível do veículo ou nas emissões de CO₂.

Na literatura, Brace et al. (C. J. Brace, 2009) descarregaram a bateria de um veículo ligeiro com motor a diesel ligando os faróis durante 90 minutos antes de realizar um teste de emissões NEDC. Foi registado um aumento de 8,7% no consumo de combustível, conforme mostrado na Figura 6. Uma limitação deste estudo é que os testes foram conduzidos a -7°C , e a carga da bateria de chumbo-ácido é reduzida em baixas temperaturas. Isso sugere que o efeito no consumo de combustível seria menor se os testes fossem repetidos em temperaturas de entre 20 e 30°C .

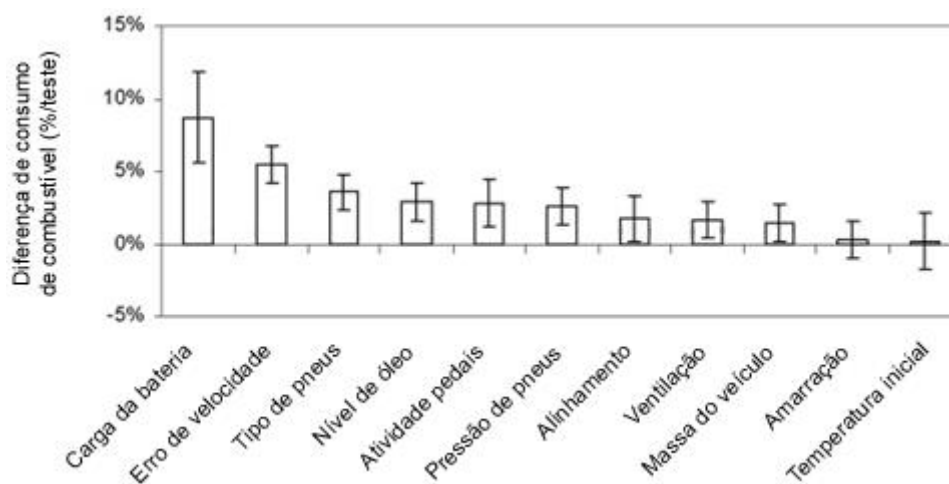


Figura 6: Efeito no consumo de combustível medido consoante o parâmetro avaliado. Adaptado de: (C. J. Brace, 2009).

Um estudo semelhante conduzido por Schmidt (Helge Schmidt, 2016) envolveu descarregar as baterias de vários veículos de teste até um nível baixo antes de realizar os testes de emissões num ciclo padronizado. O nível exato de descarga não é especificado. No entanto, foi registado um aumento das emissões de CO_2 de todos os veículos de teste, variando de aproximadamente 8% a 30%, dependendo do veículo.

Kadijk et al. (Gerrit Kadijk, 2012), ao relatar os resultados de uma seleção de outros autores, afirmaram que o estado de carga da bateria é uma das principais fontes de variabilidade nos testes, com efeitos nas emissões de CO_2 podendo atingir os 30%. Também afirmam que se pode esperar uma redução de 1% nas emissões de CO_2 ao iniciar um teste de emissões padrão com uma bateria que foi totalmente carregada imediatamente antes do teste, em comparação com iniciar o teste com uma bateria que não foi completamente carregada. Note-se que o motor de arranque é uma máquina elétrica que consome muita energia, consequentemente, provoca uma descarga da bateria após o arranque.

2.5. Comportamento do condutor

➤ Condutor profissional

Durante um teste padronizado de emissões, por exemplo, o WLTP, o condutor visualiza num ecrã em tempo real, o que normalmente consiste num monitor de computador posicionado à frente do para-brisas, onde se representa a velocidade do veículo em comparação com um perfil de velocidade alvo (Anthony Martyr, 2012). O ecrã de auxílio ao condutor provavelmente mostrará uma representação gráfica em tempo real da velocidade dos rolos do dinamómetro, que equivale à velocidade em estrada, em comparação com o perfil alvo. Um exemplo do tipo de exibição gráfica descrita anteriormente é mostrado nos primeiros 40 segundos de um teste NEDC na Figura 7.

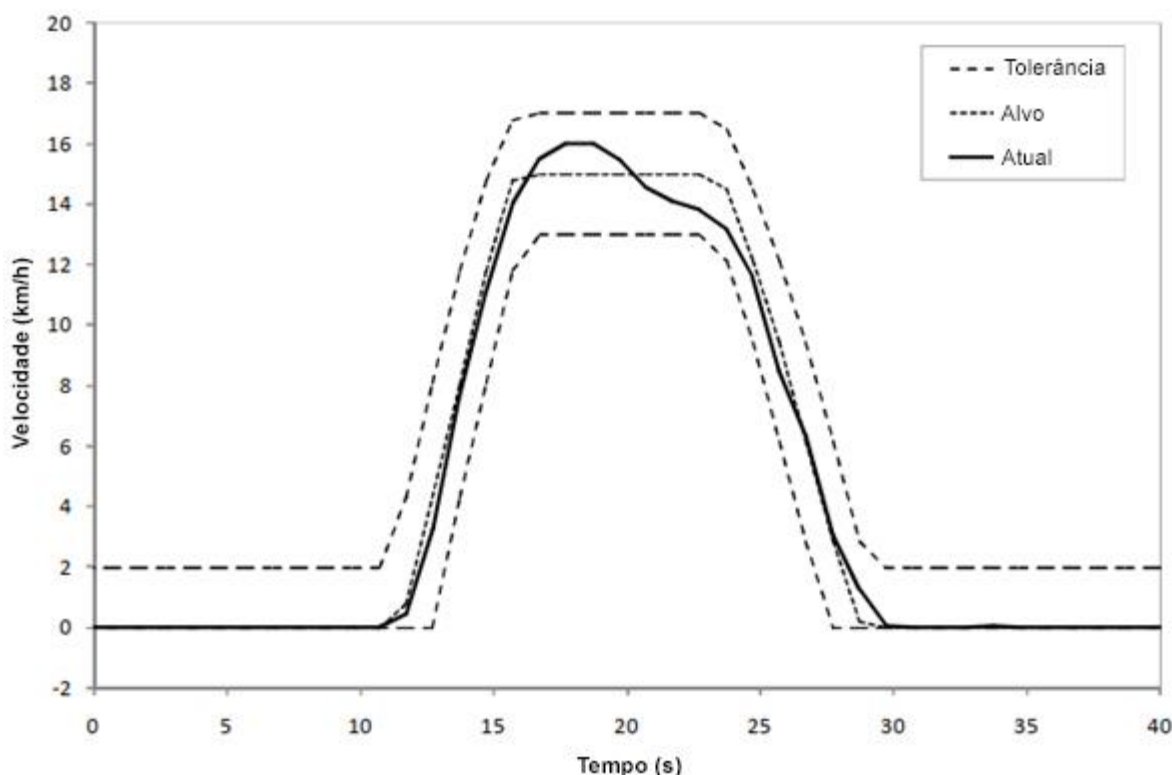


Figura 7: Exemplo do tipo de exibição gráfica do auxílio de velocidade ao motorista com linhas de tolerância. Adaptado de: (Chappell, 2015).

Durante o teste, o condutor deve controlar a velocidade do veículo para garantir que ela permaneça dentro das tolerâncias prescritas, como mostrado na Figura 7, e certificar-se de que troca da relação de transmissão, quando solicitado no ecrã de auxílio ao condutor. Portanto, o condutor deve controlar o acelerador, a travagem, trocar de relação de transmissão e ligar/desligar o motor no início/fim do teste. No caso de um veículo com uma transmissão automática, a caixa de velocidades deve, de acordo com a regulamentação atual,

ser operada no modo completamente automático. (Nations, EU Regulation N°83-07,2015, 2015).

➤ Erro de Velocidade

As variações nos erros de velocidade do condutor, dentro ou razoavelmente próximas dessas tolerâncias, nas emissões do veículo, no consumo de combustível e, conseqüentemente, nas emissões de CO₂, é mencionada várias vezes na literatura (C. J. Brace, 2009), (Gerrit Kadijk, 2012), (Peter Mock, 2013), (Helge Schmidt, 2016). Kadijk et al. (Gerrit Kadijk, 2012) afirmam que a "*influência do condutor usando as tolerâncias de velocidade no ciclo de condução*" é uma das principais flexibilidades no procedimento atual de testes de emissões padrão e afirmam que a variação na condução dentro das tolerâncias pode causar alterações nas emissões de CO₂ de até 4%. Kadijk et al. também realizaram um modelo teórico usando uma ferramenta de simulação. Foi simulado o efeito de uma mudança no estilo de condução dentro das tolerâncias legais de velocidade, que foi descrito como "*usando a velocidade e aceleração mínima*", resultando numa redução de 1,2% nas emissões de CO₂ durante o teste NEDC.

Erros de velocidade não são a única forma pela qual os condutores podem alterar o seu comportamento e causar efeitos nas emissões de CO₂ do veículo. Bielaczyc et al. (Piotr Bielaczyc, 2007) listam alguns comportamentos do condutor que também influenciam as emissões de CO₂, nomeadamente: "operação do acelerador (pedal) e experiência de condução". Os autores também adicionam o controlo da embraiagem e a velocidade da troca de relação a essa lista. Alguns desses fatores, como o controlo da embraiagem, são importantes, mas são muito difíceis de quantificar universalmente, e não existem métricas para definir diretamente esses fatores na literatura.

➤ Condutores Automatizados

Uma alternativa de tentar melhorar a precisão do condutor e retirar a variabilidade natural de um ser humano é usar "condutores autónomos", uma vez que estes são controlados via computador e programados para executar a mesma operação para cada teste de emissões. Nos primeiros anos, os condutores robots eram geralmente repetitivos, mas não conduziam os veículos de forma semelhante a um condutor humano. Com avanços ao longo dos anos no campo da robótica, os estilos de condução dos robots tornaram-se muito mais representativos da condução humana. No entanto, apesar desses avanços, os condutores

robots ainda não são a escolha padrão para os testes de emissões. Existem várias razões para isso. (C .Vagg, 2012) Em primeiro lugar, as regulamentações de emissões em muitos países, incluindo a Europa, ainda exigem condutores humanos para testes de certificação (Nations, EU Regulation N°83-07,2015, 2015). Em segundo lugar, apesar dos avanços na tecnologia de robôs, quando comparados com um condutor humano, alguns condutores robots mais baratos ainda exigem um tempo significativo de instalação e otimização no veículo para alcançar um desempenho satisfatório.

➤ **Acionamento do pedal do acelerador**

Brace et al. (C. J. Brace, 2009) quantificaram os movimentos oscilatórios do pedal do acelerador quando integrados ao longo do ciclo de teste para um comportamento típico de um condutor. Ao usar um condutor robot e ao programá-lo de forma que a atividade do pedal fosse duplicada, registaram uma alteração de 2,8% no consumo de combustível, em relação ao ciclo NEDC. Bielaczyc et al. (Piotr Bielaczyc, 2007) também mencionam os movimentos do pedal do acelerador do condutor como importantes no seu trabalho, mas não sugerem como deve ser medido ou qual é o efeito exato nas emissões de CO₂.

➤ **Troca de relação de transmissão**

Também foi constatado que o momento da troca das relações de transmissão no ciclo pode causar alterações significativas no consumo de combustível e nas emissões (Gerrit Kadijk, 2012), (C .Vagg, 2012), (R. Joumard, 2009). Os pontos de troca de relação de transmissão para um veículo que não possui um indicador de quando realiza esta troca, são determinados pela autoridade reguladora de testes de emissões e são fixos em relação à velocidade do veículo (Nations, EU Regulation N°83-07,2015, 2015). No entanto, muitos veículos novos têm este indicador mostrado no quadrante, que informam o condutor quando deve ser realizada a troca da relação de transmissão. Neste caso, para os testes de emissões regulamentares, o condutor deve mudar de relação de transmissão quando tal é indicado pelo veículo (Nations, EU Regulation N°83-07,2015, 2015). Autores descobriram que a variabilidade resultante no momento das trocas de relação causa diferenças significativas nos resultados de consumo de combustível e emissões (Gerrit Kadijk, 2012), (C .Vagg, 2012), (R. Joumard, 2009). Vagg et al. (C .Vagg, 2012) otimizaram as trocas de relação de transmissão do indicador da troca de relação já presente no veículo usando dados

experimentais obtidos em um banco de ensaio de veículos e encontraram uma redução de 4,3% no consumo de combustível e uma redução de 4,5% nas emissões de CO₂ durante testes de NEDC com arranque a frio.

2.6. Fatores Procedimentais

➤ Definição de fatores procedimentais

O termo 'fatores procedimentais' foi criado para abranger uma variedade de fontes de variabilidade que estão predominantemente relacionadas às ações humanas realizadas por técnicos de teste durante a configuração e conclusão dos testes de emissões em banco de ensaio de veículos. Exemplos incluem o alinhamento do veículo ao instalá-lo no banco de ensaio de veículos, o ajuste da pressão dos pneus do veículo e o aperto das cintas de retenção do veículo. De seguida será descrito cada um dos fatores procedimentais conhecidos e a literatura disponível para entender os seus efeitos.

➤ Alinhamento do Veículo

Quando um veículo é instalado num banco de ensaio de veículos, não é possível garantir que fica completamente alinhado perpendicularmente aos rolos após ser colocado sobre estes. Assim sendo, o dinamómetro é usado como auxílio para centralizar o veículo depois das rodas estarem sobre os rolos. Para um dinamómetro de rolos duplos, o procedimento de centralização consiste simplesmente em girar os rolos lentamente a menos de 5 km/h. Caso o veículo esteja desalinhado, este vai ajustar-se autonomamente até ficar perpendicular aos rolos.

Pela experiência de Chappell et al. (Chappell, 2015), existem dois modos de falha mais prováveis ao centralizar um veículo. Em primeiro lugar, o veículo pode ser colocado sobre o dinamómetro com um ângulo tão acentuado que os rolos não são largos o suficiente para alinhar o veículo por meio do princípio descrito anteriormente. Nesta situação, ocorre um risco acrescido de o veículo sair dos rolos do dinamómetro e colidir com as proteções. O segundo e muito mais provável modo de falha é o operador esquecer-se de alinhar o veículo após instalá-lo no dinamómetro. Brace et al. (C. J. Brace, 2009) examinaram o efeito de um desalinhamento que poderia ocorrer a partir deste modo de falha, desalinhando proposadamente o veículo em 75 mm, conforme indicado pelo diagrama deles, ver a Figura 8.

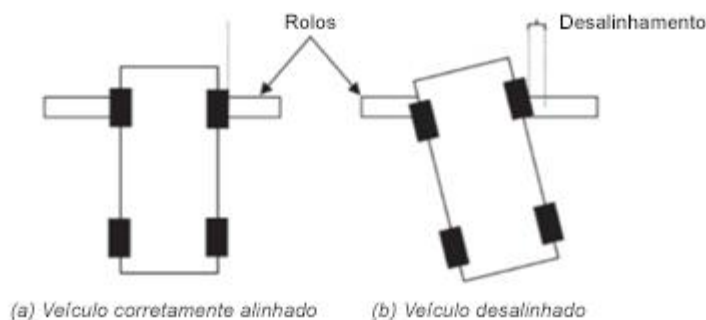


Figura 8: Diagrama demonstrativo do desalinhamento de um veículo num banco de ensaio de veículos. Adaptado de: (C. J. Brace, 2009).

Quando os testes NEDC foram realizados com o veículo desalinhado, observou-se um aumento de 1,7% no consumo de combustível devido ao desalinhamento de 75 mm.

➤ Pneus do veículo

Os fatores mais frequentemente discutidos que afetam a resistência ao rolamento são a pressão dos pneus, desgaste, alinhamento, perímetro da roda, inércia, atrito da superfície do pneu, temperatura, largura e composição. Genta (Genta, 1997) documenta a tendência teoricamente esperada para alguns desses fatores, afirmando que a resistência ao rolamento de um pneu diminui com o aumento do desgaste. Salienta-se ainda que o amortecimento interno da borracha diminui com o aumento da temperatura, devido ao aumento de pressão provocado por esta, e, portanto, promovendo uma redução da resistência ao rolamento.

A legislação de testes de emissões padrão estabelece que a pressão dos pneus deve ser ajustada antes dos testes, quando o veículo estiver frio, mas não especifica uma temperatura (Gerrit Kadijk, 2012), (Nations, EU Regulation N°83-07,2015, 2015). Kadijk et al. (Gerrit Kadijk, 2012) identifica que, ajustando a pressão dos pneus quando o veículo está frio, garante-se uma pressão mais alta e, portanto, uma menor resistência ao rolamento durante o teste, quando o veículo estiver quente. A maioria dos autores quantificou o efeito das alterações na pressão dos pneus quando combinadas com outros fatores, no entanto, Brace et al. (C. J. Brace, 2009) estudaram a pressão dos pneus isoladamente. Foi constatado que uma diminuição de 7 psi (~ 0,5 bar) na pressão de pneus convencionais causou um aumento de 2,6% no consumo de combustível medido.

O tipo de pneu também é outro fator importante na resistência ao rolamento. Os veículos desportivos normalmente são equipados com pneus com uma maior aderência e, portanto, têm uma resistência ao rolamento superior quando comparados com os pneus de veículos de

passageiros convencionais. Brace et al. (C. J. Brace, 2009) estudaram a diferença de um tipo de pneu convencional para um pneu desportivo e constataram um aumento de 3,6% no consumo de combustível medido durante o ciclo NEDC.

Até agora foi explorado o efeito da alteração dos pneus do veículo no consumo de combustível, no entanto, estes mesmo diferentes tipos de pneus também podem afetar o tempo de desaceleração durante a realização de um teste em dinamómetros de chassis. Brace et al. (C. J. Brace, 2009) resumiram o efeito cumulativo de vários fatores relacionados com os pneus nos tempos de desaceleração e também os vincularam ao consumo de combustível, ver a Figura 9. Os resultados daqueles autores mostram que houve um aumento no consumo de combustível de aproximadamente 12% quando os pneus desportivos estavam demasiado vazios durante um ciclo NEDC, destacando o quão significativo pode ser o efeito dos pneus em conjunto com outros fatores.

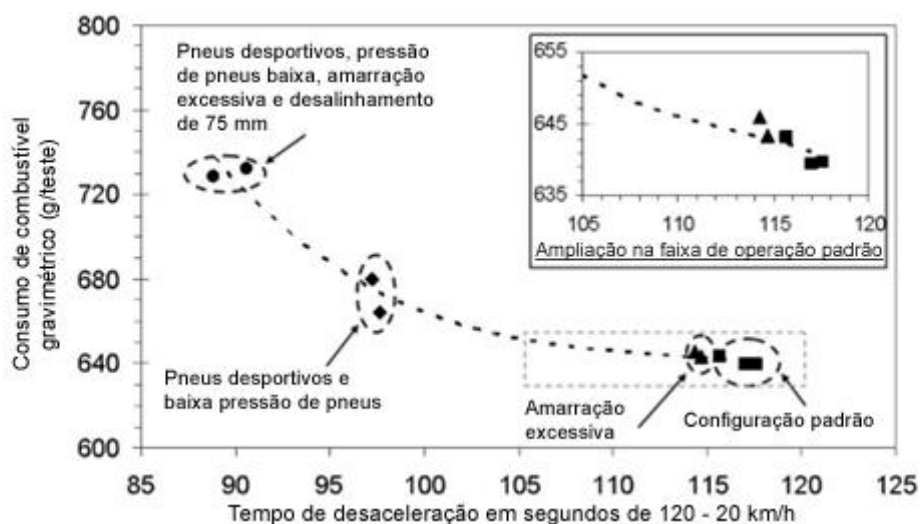


Figura 9: Gráfico do efeito combinado de fatores relacionados aos pneus na resistência ao rolamento medida pelo tempo de desaceleração e consumo de combustível gravimétrico. Adaptado de: (C. J. Brace, 2009).

Isto destaca a importância de examinar os dados de desaceleração dos testes em banco de ensaio de veículos, dado que fornecem informações valiosas sobre a variabilidade na resistência ao rolamento e, portanto, nas possíveis emissões de CO₂ e consumo de combustível. Um teste de desaceleração fornecerá apenas uma medida da resistência ao rolamento no final deste, sendo importante também considerar variáveis que podem ser controladas antes de iniciar o teste, como por exemplo a pressão dos pneus.

➤ **Amarração do veículo**

Um aumento na carga vertical aplicada ao veículo por meio das cintas de imobilização deveria resultar num aumento da resistência de rolamento dos pneus. O estudo realizado por Brace et al. (C. J. Brace, 2009) não mostrou significância estatística no efeito medido da tensão das cintas. Neste mesmo estudo, assumiu-se que ao mudar o ângulo das cintas de horizontal para amarradas ao chão, não induz um aumento significativo na carga vertical dos pneus e que o ângulo das cintas é provavelmente um fator que menos afeta o consumo de combustível do veículo. No entanto, os mesmos autores não mediram a tensão das cintas diretamente nem a deflexão da suspensão do veículo quando as cintas foram fixadas ao chão. Portanto, não é possível saber quanto de carga vertical foi aplicada às rodas. Ainda assim, caso as cintas estivessem bastante frouxas quando fixadas ao chão, não seria surpreendente que não houvesse efeito significativo no consumo de combustível. Contrariamente, um operador poderia apertar as cintas tão firmemente que cria um aumento considerável na carga vertical e, portanto, seria expectável uma mudança significativa no consumo de combustível.

➤ **Massa do veículo**

A massa física do veículo de teste instalado no banco de ensaio de veículos pode variar. Por exemplo, a massa do combustível no presente depósito do veículo, o peso do motorista, juntamente com o peso de quaisquer opcionais instalados no veículo de teste. O aumento na massa física do veículo de teste tem o efeito de aumentar a carga vertical sobre os pneus do veículo e, portanto, aumentar a resistência ao rolamento. A massa da carga do depósito de combustível geralmente é menos importante num veículo de tração dianteira, uma vez que o tanque de combustível geralmente está localizado acima das rodas traseiras. No entanto, em qualquer caso, ela pode ser facilmente controlada garantindo que o nível do tanque seja mantido dentro de uma tolerância sensata.

➤ **Nível de óleo do motor**

O efeito do nível de óleo do motor nas emissões de CO₂ durante os testes de emissões padronizados não é amplamente discutido na literatura. Apenas Brace et al. (C. J. Brace, 2009) tentaram medir experimentalmente o efeito do nível de óleo num veículo ligeiro de passageiros, testando o veículo com um nível de óleo completo, pelo limite máximo da vareta de medição, e com 2,5 litros de óleo de motor removidos. Houve uma diminuição no consumo de combustível de 2,9% como resultado da remoção dos 2,5 litros de óleo do motor.

No entanto, esta é uma redução significativa no nível de óleo do motor e provavelmente resultaria em um nível abaixo do mínimo indicado na vareta de medição. Portanto, é improvável que este caso ocorra durante a operação normal do veículo em um banco de rolos, a menos que seja uma condição de teste deliberada.

➤ **Condições ambiente da sala de ensaios**

Os dinamômetros de chassis usados para testes de emissões padronizados são por norma instalados em laboratórios climatizados, pois há uma exigência legal para que estes testes de emissões mantenham a temperatura entre 20 e 30°C (Nations, EU Regulation N°83-07,2015, 2015). Em grande parte dos casos, quanto menor for o espaço, a temperatura geralmente é mais facilmente regulada, pois é fisicamente mais fácil controlar um pequeno volume de ar. No entanto, quanto maior for a área de testes, maior é possibilidade de ocorrer variações localizadas na temperatura ou na humidade.

Vários autores descobriram que variações na temperatura do ar do laboratório podem causar variações no consumo de combustível e nas emissões dos veículos (C. J. Brace, 2009), (Gerrit Kadijk, 2012), (Peter Mock, 2013), (Helge Schmidt, 2016), (R. Joumard, 2009) (Dornoff & Rodríguez, 2019). Embora todos os autores indiquem algum tipo de dependência da temperatura, muitos deles não mencionam uma correlação entre a temperatura ambiente e as emissões, e aqueles que mencionam encontraram efeitos pequenos. Brace et al. (C. J. Brace, 2009) constataram que um aumento de 3°C na temperatura inicial de arranque do motor causou uma alteração de 0,2% no consumo de combustível do veículo, uma alteração que não foi estatisticamente significativa. Joumard et al. (R. Joumard, 2009) relatam que um aumento na temperatura de 10 a 20°C causou uma redução nas emissões de CO₂ de 2%. Dornoff et al. (Dornoff & Rodríguez, 2019) conduziram uma série de testes nos ciclos NEDC e WLTC com dois veículos, um a diesel e outro a gasolina. Eles observaram diferenças significativas nas emissões de CO₂ para ambas as tecnologias de motor quando testadas nas mesmas temperaturas às quais foram aprovadas pelo fabricante durante o ciclo NEDC, a 23°C. O estudo revelou um aumento de 5,8% nas emissões de CO₂ para o veículo a diesel e uma diminuição de 3,6% para o veículo a gasolina nestas mesmas condições. Além disso, repetiram os mesmos testes no ciclo NEDC para as temperaturas de 10°C e 30°C. A 10°C, observou-se um aumento de 7,8% nas emissões de CO₂ para o veículo a diesel e de 6,2% para o veículo a gasolina. No teste realizado a 30°C, apenas o veículo a gasolina foi avaliado, demonstrando uma diminuição de 1,6% nas emissões de CO₂. Quanto ao ciclo WLTC, os

autores conduziram três ensaios em diferentes temperaturas: -7°C , 14°C e 23°C . Assim como no ciclo NEDC, considerando o ensaio a 23°C como referência, comparável à temperatura em que foi realizado o ciclo NEDC pelo fabricante. A análise dos resultados mostrou um aumento de 11,4% e 14,5% nas emissões de CO_2 para o veículo a diesel e a gasolina, respectivamente, em comparação com a temperatura de 23°C . A 14°C , as emissões aumentaram em 3,5% para o veículo a diesel e 5,4% para o veículo a gasolina, enquanto a -7°C , apenas o veículo a diesel foi testado, resultando em um aumento de 14% nas emissões de CO_2 . É importante notar que, para o teste a -7°C , os autores decidiram aumentar em 10% o binário resistivo aplicado pelo dinamômetro devido à maior densidade do ar a essa temperatura. Os resultados dos testes de emissões de CO_2 referidos anteriormente a diferentes temperaturas são apresentados na Figura 10. As barras de erro mostram a faixa mínima a máxima de resultados caso múltiplos testes tenham sido realizados. Quando nenhuma barra de erro é mostrada indica que apenas um teste foi realizado. Os pontos a vermelho representam os valores de referência obtidos pelo fabricante das emissões de CO_2 num ciclo NEDC.



Figura 10: Efeito da temperatura ambiente nas emissões de CO_2 durante o arranque a frio nos ciclos WLTC e NEDC. Adaptado de: (Dornoff & Rodríguez, 2019)

Kadijk et al. (Gerrit Kadijk, 2012) referem no seu estudo uma redução nas emissões de CO_2 de 4% quando os resultados obtidos a uma temperatura ambiente de 20°C e 30°C são comparados. Porém, não é fornecida uma referência para esta descoberta, que é mais o dobro da redução prevista de 2% relatada no estudo referido anteriormente.

➤ Efeito da temperatura do líquido de refrigeração

Dornoff et al. (Dornoff & Rodríguez, 2019) demonstram que temperaturas mais baixas do líquido de refrigeração afetam negativamente as emissões de CO₂, o que significa que um veículo que arranca a frio gera mais CO₂ no mesmo teste do que um iniciado a quente. Para investigar este efeito nos veículos testados, realizaram testes NEDC e WLTC com o motor iniciado a frio e a quente. Os resultados destes testes com a temperatura ambiente de 23°C estão apresentados na Figura 11. A comparação mostra que a emissão de CO₂ do Golf TSI, veículo a gasolina, permanece também inferior nos testes com arranque a quente. A diferença de CO₂ emitido para um teste com arranque a frio face a um teste com arranque a quente no ciclo NEDC é de 10 g/km para ambos os veículos. Num ciclo WLTC a diferença é aproximadamente metade do valor do NEDC, ou seja, 5 g/km, consequência da duração mais longa do teste WLTC e, portanto, resulta numa diminuição do impacto das emissões médias do ciclo relativamente ao arranque a frio. Na Figura 11 é demonstrado graficamente o efeito da temperatura do líquido de refrigeração nas emissões de CO₂. A barra de erro mostra a incerteza dos resultados caso tenham sido realizados múltiplos testes. Nenhuma barra de erro é mostrada se apenas um teste foi realizado.

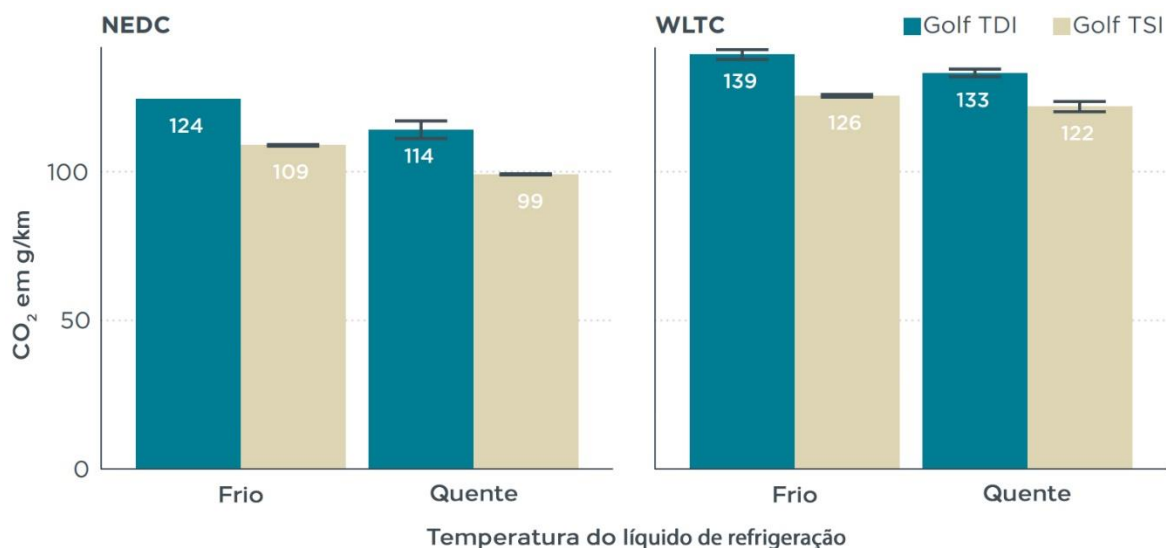


Figura 11: Efeito da temperatura do líquido de refrigeração nas emissões de CO₂ – Comparação entre Golf TDI e Golf TSI para os ciclos NEDC e WLTC a 23°C. Adaptado de: (Dornoff & Rodríguez, 2019).

➤ Sistema de ventilação e arrefecimento do motor

A eficiência do sistema de ventilação, é crucial para manter o motor na temperatura correta de funcionamento e replicar o escoamento de ar sobre o motor durante os testes de emissões de veículos em um banco de ensaio. No entanto, segundo (Chappell, 2015) existem três

principais fatores que podem causar variabilidade no escoamento de ar proveniente deste ventilador em direção ao veículo. A posição do ventilador é determinada pela legislação de emissões, mas muitas vezes depende do técnico para posicionar corretamente o ventilador antes de cada teste. Se este procedimento não for estritamente controlado, pode haver variabilidade, especialmente no ângulo em que o ventilador está apontando para o radiador e/ou *intercooler* do veículo. Outro fator de variação é a calibração incorreta da velocidade do escoamento do ventilador em relação à velocidade do veículo. Para testes padrões de acordo com a legislação, há uma tolerância legal na calibração da velocidade do ar à saída do ventilador, o que significa que o impacto deste fator provavelmente será relativamente pequeno. Como referência, a tolerância legal para testes de acordo com a legislação é que a velocidade do ar deve estar dentro de ± 5 km/h da velocidade do rolo do dinamômetro na gama de 10 a 50 km/h. Em velocidades acima de 50 km/h, a velocidade do ar deve estar dentro de ± 10 km/h. Em resumo, a posição e a calibração corretas do ventilador são essenciais para garantir a consistência nos testes realizados em banco de ensaio de veículos, e a legislação estabelece tolerâncias para garantir que este fator seja controlado adequadamente.

O estudo realizado por Brace et al. (C. J. Brace, 2009) investigou o efeito de uma velocidade superior em 40% no ventilador durante o ciclo NEDC e constatou um aumento de 1,7% no consumo de combustível. No entanto, é preciso considerar que foi alterada a carga do ventilador de 100% para 140%. Portanto, é altamente possível que a saída do escoamento do ventilador tenha saturado antes de atingir o aumento de 40%, uma vez que o escoamento de ar à saída não foi medido ou discutido no estudo e não há detalhes sobre as características do ventilador. Assim sendo, é difícil concluir a influência do aumento da velocidade do ventilador no consumo de combustível.

Sumário

Dada a extensão e complexidade dos dados disponíveis na literatura, foi essencial condensar os vários fatores procedimentais que influenciam as emissões de CO₂ e o consumo de combustível. Embora, para alguns destes fatores, não existam dados numéricos disponíveis que permitam quantificar o seu impacto nas emissões. Por outro lado, para os outros fatores, a literatura inclui dados de pelo menos um estudo experimental que permite uma quantificação aproximada do efeito de cada fator nas emissões de CO₂ e/ou consumo de combustível. Estes resultados estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3: Resumo do efeito das variáveis em estudo.

Fatores Procedimentais	Efeito no consumo de combustível (CC) ou nas emissões de CO₂	Autor(s)
Carga da bateria	8,7% CC	Brace et. al.
Erro de velocidade	0 – 4% CO ₂	Kadijk et. al.
Erro da velocidade (usando a velocidade e aceleração mínima)	1,2% CO ₂	Kadijk et. al.
Tipo de pneus	3,6% CC	Brace et. al.
Nível de óleo do motor	2,9% CC	Brace et. al.
Atividade do pedal do acelerador	2,8% CC	Brace et. al.
Pressão dos pneus	2,6% CC	Brace et. al.
Alinhamento do Veículo	1,7% CC	Brace et. al.
Sistema de ventilação e arrefecimento do motor	1,7% CC	Brace et. al.
Massa do veículo	Não avaliado	N/A
Amarração do veículo	Não avaliado	N/A
Condições ambiente da sala de ensaios	0,2% CC	Brace et. al.
Condições ambiente da sala de ensaios	2 – 14% CO ₂	Jourmard et.al., Kadijk et. al., Dornoff et al.
Temperatura do líquido de refrigeração	3,2 – 9,6% CO ₂	Dornoff et al.

2.7. Ensaios em Dinamómetro

Os testes de motores realizados em dinamómetro, têm como premissa fundamental a simulação das diversas condições de operação que um motor de combustão interna (MCI) e seus componentes podem enfrentar durante a sua vida útil, com o propósito de verificar se atendem às expectativas de desempenho do ponto de vista da engenharia.

Além disso, a implementação da norma europeia EURO VI (e futuramente EURO VII a partir de 2030) tem impulsionado o avanço de motores com menor emissão de poluentes e um menor consumo de combustível. Consequentemente, os testes em dinamómetros têm sido cada vez mais empregues na validação de inovações tecnológicas criadas para cumprir com as exigências destas regulamentações e permitir a melhoria da eficiência energética dos motores de combustão interna.

Os ciclos de condução são uma parte integrante de todos os testes em banco de ensaio de veículos, e a sua representatividade e completude (ou seja, a capacidade de representar estatisticamente as condições de condução em estudo) são essenciais para a qualidade dos resultados dos testes. O número de ciclos de teste em banco de ensaio de veículos utilizados em todo o mundo para medições de emissões e consumo de combustível está continuamente a expandir para cobrir as necessidades regulamentares, ao mesmo tempo que tenta simular as condições de condução do mundo real (André e Rapone, 2009).

2.7.1. Testes de desempenho – testes contínuos e testes discretos

Os testes de desempenho permitem avaliar o estado do veículo em termos de Potência e Binário, aferindo neste caso, se, e de que modo, os combustíveis em análise afetam as capacidades do motor para aproveitar a energia disponível.

Para a obtenção dos resultados pretendidos (Potência e Binário do motor), o dinamómetro mede a Potência à roda, à qual se soma a Potência de perdas na transmissão obtida no processo de desaceleração. Após a obtenção destes dois parâmetros, obtém-se o valor de Potência do motor, valor este que já é corrigido em função das condições ambientais (segundo a norma definida), assumindo assim a designação de “Potência da Norma”. Através deste valor de Potência, dividindo pela rotação correspondente obtém-se o valor do Binário disponibilizado pelo motor. Deve ainda ser selecionada a correção das condições atmosféricas (pressão e temperatura) de acordo com a norma que é também utilizada pelo fabricante para anúncio das características do motor.

2.8. Ensaio em Estrada

Os ensaios em estrada oferecem a capacidade mais próxima de simular as condições reais de condução, onde o veículo enfrenta diversas condições ambientais e de tráfego. No entanto, é difícil de garantir a repetibilidade que existe num laboratório, devido à sua maior incerteza associada, o que torna essencial avaliar a metodologia cuidadosamente para garantir alguma fiabilidade dos resultados obtidos.

No trabalho de pesquisa realizado por P. Mock et al. que se focou em encontrar as diferenças entre os resultados obtidos em laboratório, num ciclo NEDC, para o consumo de combustível e as correspondentes emissões de CO₂ em comparação com os resultados obtidos em estrada, observou-se que a discrepância média entre os valores de consumo de combustível e os

valores de homologação do veículo obtidos em condições laboratoriais aumentou de 8% em 2001 para 38% em 2013. Segundo o autor, o aumento nos últimos anos foi particularmente acentuado: desde 2007, a diferença cresceu aproximadamente um quinto por ano. Os métodos de recolha de emissões de CO₂ em estrada variam de fonte para fonte, assim como as características da frota e os estilos de condução. Consequentemente, as discrepâncias absolutas encontradas variam de uma fonte para outra. Contudo, é importante notar que todas as evidências apontam para um crescente desfasamento entre os valores de homologação e os valores reais ao longo do tempo (P. Mock, 2014).

O grupo de investigação da União Europeia (*Joint Research Centre*) iniciou em 2007 uma série de atividades experimentais com o objetivo de investigar as emissões de poluentes do mundo real usando instrumentação a bordo, como o PEMS (*Portable Emissions Measurement Systems*). Especificamente para veículos ligeiros, foram encontradas grandes discrepâncias entre os testes realizados em laboratório e em estrada (Martin Weiss, 2013) (P. Mock, 2014). Estas descobertas e outros elementos desencadearam o desenvolvimento de um teste real em estrada: A União Europeia adotou em 2016 um primeiro pacote *Real Driving Emissions* (RDE) (Regulamento UE 2016/427) que definiu procedimentos, requisitos de instrumentação e métodos de avaliação. É importante observar que este conjunto de regulamentações já passou por várias revisões, atualmente estando na sua quarta geração (Mathies, 2022).

O teste RDE tem como objetivo verificar se os veículos conseguem manter as baixas emissões mesmo em condições reais de condução em estradas. É importante destacar que o teste RDE não substitui o teste de laboratório WLTP, mas antes complementa-o. Durante o teste RDE, a viatura é conduzida em estrada numa ampla variedade de condições que devem conter todos os componentes necessários de uma viagem válida e atender a todas as condições limites. Tais condições incluem: altitudes e temperaturas diferentes, carga suplementar, condução em subidas e em descidas, estradas urbanas (velocidade baixa), estradas rurais (velocidade média) e autoestradas (velocidade alta) (TransportPolicy, 2018). Este teste para viaturas de passageiros e comerciais ligeiros Classe I entrou em vigor desde 1 de setembro de 2017 aos novos modelos homologados e a todas as viaturas matriculadas a partir de 1 de setembro de 2019 (FIAT, 2023).

Para medir as emissões de poluentes durante a condução em estrada, os veículos são equipados com sistemas de medição portáteis (PEMS) que efetuam uma monitorização

completa em tempo real dos principais poluentes emitidos pelo veículo. Os PEMS são aparelhos complexos que integram analisadores avançados de gases, medidores de fluxo dos gases de escape, estação meteorológica, GPS (*Global Positioning System*) e uma ligação em rede. Os dados recolhidos são analisados para verificar se as condições de enquadramento da viagem RDE foram satisfeitas e se as emissões se mantêm dentro dos limites previstos pelo regulamento.

O estudo conduzido por Iman Reksowardojo (Iman K. Reksowardojo, 2020) foi realizado em condições reais de condução, através de ensaios em estrada, onde os veículos percorreram uma distância significativa de 40.000 km. O objetivo passou por analisar os efeitos nos parâmetros de desempenho, incluindo a economia de combustível, potência e binário, bem como medir as emissões de CO, HC, NO_x e PM em marcos específicos da quilometragem. Além disso, o estudo abordou a influência do combustível nos componentes do motor ao longo do tempo. Os resultados revelaram que o biodiesel B20 apresentou uma economia de combustível inferior em comparação com o B0, mas essa diferença só se tornou significativa após o veículo percorrer uma distância de 20.000 km, mantendo-se até aos 40.000 km. Vale destacar que neste estudo foram utilizados veículos de três fabricantes diferentes para a pesquisa, com dois veículos de cada fabricante: um abastecido com diesel (B0) como veículo de referência e outro com biodiesel B20. No entanto, os resultados discutidos na pesquisa referem-se apenas a um dos fabricantes, pois os restantes apresentaram tendências semelhantes. Como referido anteriormente, as avaliações incluíram testes laboratoriais realizados em diferentes marcos de quilometragem, como 2.500 km, 5.000 km, 10.000 km, 20.000 km, 30.000 km e 40.000 km. Foi também realizada uma manutenção periódica dos veículos segundo os fabricantes aos 0 km e nos intervalos de 15.000 km e 30.000 km, antes de realizar os testes laboratoriais, não sendo descrita a manutenção que foi efetuada. Esta abordagem rigorosa permitiu uma análise ampla do efeito do biodiesel nos veículos, abrangendo desde o desempenho até as emissões e componentes do motor, fornecendo informação valiosa sobre o comportamento do combustível em condições reais de condução.

Os autores L. Serrano, et al. (L. Serrano, 2012), no âmbito da sua pesquisa, concentraram-se no objetivo de obter conhecimento sobre o comportamento dos motores de veículos em condições reais de operação em estrada quando abastecidos com biodiesel. Para isso, foram realizados testes com nove veículos usando dois tipos diferentes de combustível (quatro com diesel fóssil e cinco com uma mistura contendo 20% de biodiesel (B20)). Estes testes foram

conduzidos tanto em condições laboratoriais quanto em condições reais de estrada. Para a realização dos testes, os autores selecionaram dois veículos semelhantes em termos de idade, quilômetros e características, submetendo-os aos mesmos circuitos e condições de tráfego, mas utilizaram dois combustíveis distintos, ao longo de 7500 km. Os combustíveis utilizados neste estudo foram diesel fóssil (FD) e B20. Os testes iniciais foram realizados em um banco de ensaio de veículos para medir o desempenho do veículo e o consumo de combustível. Posteriormente, os autores desenvolveram uma metodologia para realizar testes em estrada. Estes testes consideraram a circulação simultânea de dois veículos idênticos, alimentados com os dois combustíveis diferentes, mas operando nas mesmas condições de tráfego e estrada. Os testes em condições reais de estrada envolveram três trajetos distintos. Um deles ocorreu em área urbana, considerando dois cenários diferentes: um com tráfego mais congestionado e outro com tráfego mais fluído, em diferentes períodos do dia. Um circuito extraurbano também foi considerado, com uma rota montanhosa e outra mais plana. Um terceiro trajeto foi realizado em autoestrada. Esta análise reuniu os resultados de consumo dos dois veículos em cada cenário e avaliou as diferenças no uso do B20. Os resultados mostraram que ocorrem diferenças para diferentes tipos de circulação entre urbana, extraurbano e autoestrada, revelando uma diferença interessante no desempenho energético do mesmo veículo operando com combustível B20, quando comparado com FD. Numa análise volumétrica, a utilização de biodiesel em circuitos urbanos não representa diferença no consumo do veículo, mas num circuito extraurbano, a utilização de B20 revelou uma ligeira diminuição no consumo de combustível correspondente a 0,1 l/100 km, enquanto na autoestrada, foi notado um pequeno aumento de 0,05 l/100 km no consumo.

Dornoff et al. (Dornoff & Rodríguez, 2019), decidiram comparar os motores a gasolina e a diesel do carro de passageiros mais popular da Europa, o Volkswagen (VW) Golf, sob várias condições de laboratório e de condução em estrada. Foram selecionados dois veículos VW Golf para os testes, uma versão a diesel (Golf TDI) e uma a gasolina (Golf TSI). Ambos os veículos foram aprovados de acordo com a norma Euro 6 antes da introdução dos limites de emissões de NO_x do Procedimento Mundial Harmonizado para Testes de Veículos Ligeiros (WLTP) e Emissões Reais de Condução (RDE) na UE. Em todos os testes conduzidos em ambiente laboratorial, o Golf TSI apresentou emissões de CO₂ mais baixas em comparação com o Golf TDI (ver Figura 12). Este padrão persistiu tanto em testes realizados em temperaturas ambiente mais baixas, onde as emissões de CO₂ aumentaram para ambos os veículos, como em testes com arranque a quente, onde o Golf TSI também alcançou

melhores resultados de emissão de CO₂. Durante os testes em estrada, cerca de 3000 km percorridos, embora as emissões de CO₂ medidas terem sido inferiores para o Golf TSI (ver Figura 12), a variação observada conforme o tipo de percurso, estilo de condução e influência da temperatura ambiente nos resultados sugere que ambos os veículos, quando conduzidos de maneira idêntica nas mesmas condições ambientais, apresentam emissões de CO₂ semelhantes. Estas conclusões são corroboradas pelos dados de emissão de CO₂ relatados no site alemão independente Spritmonitor (Spritmonitor, 2019), os quais indicam, em média, valores mais baixos para o Golf TSI em comparação com o Golf TDI. Na Figura 12, são apresentados os níveis de emissão de CO₂ do Golf TDI e do Golf TSI. São comparados os resultados dos testes com os valores declarados pelo fabricante e a média relatada pelos consumidores (Spritmonitor). As barras de erro mostram a faixa mínima à máxima de resultados se vários testes foram realizados. Nenhuma barra de erro é mostrada se apenas um teste foi realizado. O número de testes realizados é mostrado na parte inferior de cada barra. O valor de emissão de CO₂ e a diferença relativamente ao fabricante é mostrada no topo de cada barra.

Na Figura 12, os testes mostrados foram realizados a 23°C com o motor frio no início do teste (a – Testes em laboratório). O gráfico mostra as emissões de CO₂ nos testes em estrada, sem correção para os diferentes estilos de condução ou temperatura ambiente. Quando estes efeitos são levados em conta, espera-se que as emissões de CO₂ nos testes em estrada sejam semelhantes (b – Testes em estrada). A barra reflete as emissões médias de CO₂ relatadas para n veículos diferentes (c - Spritmonitor).

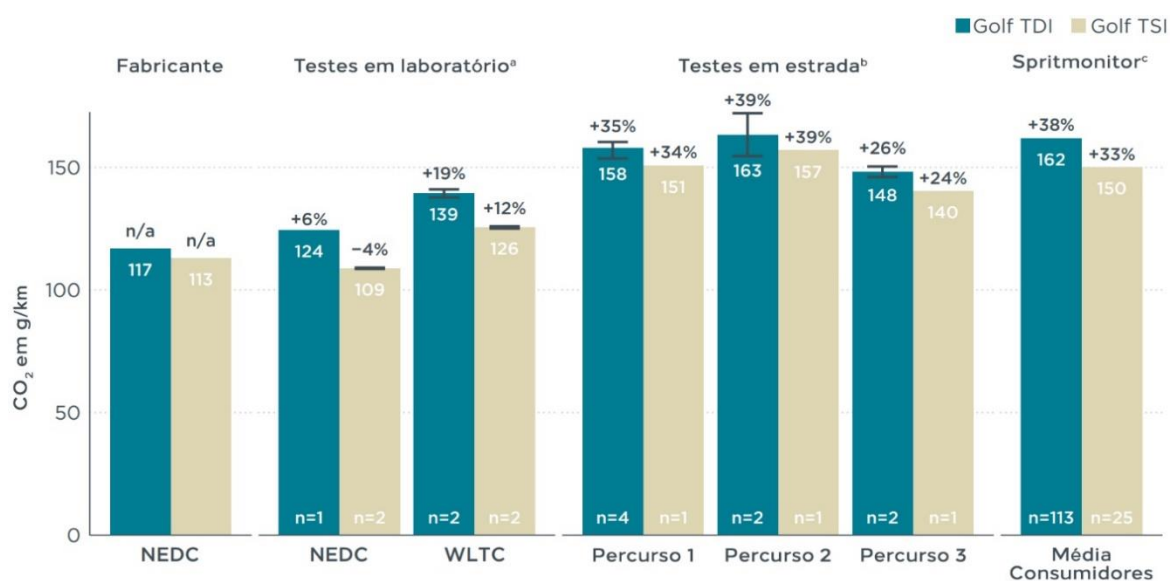


Figura 12: Níveis de emissão de CO₂ do Golf TDI e Golf TSI. Adaptado de: (Dornoff & Rodríguez, 2019)

3. Metodologia Experimental

Para a execução de ambos os projetos, foi elaborado um plano de trabalho dividido em duas partes distintas: a "Parte 1 - ensaios laboratoriais iniciais" e a "Parte 2 - ensaios de estrada".

Parte 1: Ensaios Iniciais em Laboratório

Na Parte 1, os ensaios foram realizados em laboratório para obter resultados iniciais e exploratórios. O objetivo era avaliar as potencialidades dos combustíveis em análise, abrangendo desempenho, consumos, emissões e funcionamento do motor. Tanto os ensaios com gasolina quanto com diesel passaram por esta fase, permitindo uma comparação inicial entre os dois tipos de combustíveis.

Parte 2: Ensaios em Estrada e Laboratoriais

Após os resultados na Parte 1, deu-se início à Parte 2. Nesta fase, os veículos foram submetidos a ensaios em condições reais de utilização. Tanto os ensaios com gasolina quanto com diesel foram realizados ao longo de distâncias significativas: 30k km para gasolina e 20k km para diesel. Durante estes testes, foram realizadas verificações regulares para monitorar o funcionamento do veículo e coletar dados importantes, como amostras de óleo lubrificante e análise de componentes do motor. Esta etapa permitiu validar os resultados obtidos em laboratório e avaliar o desempenho dos veículos ao longo do tempo, nomeadamente a influencia dos combustíveis em estudo.

3.1. Plano/cronologia de trabalhos

3.1.1. Diesel

Para a realização deste projeto, foi inicialmente elaborado um plano de trabalho detalhado, no qual foram definidas as diversas etapas necessárias para a Fase 2 do estudo. Ao longo da execução do projeto, este plano foi seguido rigorosamente, embora tenham ocorrido alguns ajustes e imprevistos menores. O cronograma com os momentos, ações e outras informações relevantes para o projeto pode ser encontrado na Tabela 4.

Ao analisar este cronograma, observa-se que os trabalhos foram iniciados em 26 de junho de 2021, com a realização da primeira avaliação para determinar as características do veículo. Até o final de novembro de 2021, os testes intermediários correspondentes à

avaliação dos 10.000 km foram concluídos, com cerca de 12.431 km percorridos. No início de março de 2022, os 20.000 km planejados foram completados, totalizando 21.061 km percorridos e permitindo, assim, a realização da avaliação final.

Tabela 4: Descrição cronológica dos trabalhos.

Cronograma do estudo – Diesel	
Momento	Ação
T1 – 0 km (odômetro 17.711 km)	Avaliação inicial em laboratório <ul style="list-style-type: none"> • Ensaio em dinamômetro • Substituição do filtro de gasóleo para análise • Substituição dos injetores existentes no veículo por injetores novos
Ensaio em estrada	Utilização do veículo ao longo de 10.000 km
T2 – 10k km (odômetro 30.324 km)	Avaliação intercalar em laboratório <ul style="list-style-type: none"> • Ensaio em dinamômetro • Substituição do filtro de gasóleo para análise • Amostra de óleo
Ensaio em estrada	Utilização do veículo ao longo de mais 10.000 km com combustível em análise, até totalizar 20.000 km
T3 – 20k km (odômetro 38.954 km)	Avaliação final em laboratório <ul style="list-style-type: none"> • Ensaio em dinamômetro • Substituição do filtro de gasóleo para análise • Amostra de óleo

3.1.2. Gasolina

Na Parte 1, inicialmente, toda a preparação da montagem experimental e do veículo foi efetuada visando garantir segurança, sincronismo e repetibilidade nos ensaios. O veículo passou por uma revisão do motor no concessionário, incluindo a anulação de erros da Unidade Eletrônica de Controle do motor (ECU), a substituição de velas de ignição e filtro de ar por novos componentes, os quais não são objeto de acompanhamento neste trabalho. Além disso, foi realizada a recolha de uma amostra do óleo lubrificante novo colocado no motor, que também não será objeto de acompanhamento neste trabalho.

Após a montagem e validação experimental de toda a instrumentação e recolha de informação, foi conduzida a sequência de ensaios para medição de consumo de combustível, emissões e desempenho com os combustíveis em análise. A primeira sequência de ensaios foi realizada com um combustível comercial (Petrol A – PA), seguida pela segunda sequência de ensaios com o combustível em análise que contém uma pequena percentagem de um combustível renovável (Petrol B – PB). Os detalhes das operações realizadas na Parte

1, bem como a sequência cronológica da sua execução, são apresentados de forma mais detalhada na Tabela 5.

Tabela 5: Descrição cronológica dos trabalhos - Parte 1 - Ensaios laboratoriais iniciais.

Plano de ensaios (Gasolina)	
Momento	Ação
Início do estudo 45714 km	Avaliação/preparação inicial em laboratório <ul style="list-style-type: none"> • Preparação da montagem experimental. • Ensaios preparatórios. • Recolha de amostra de óleo lubrificante usado existente no veículo.
Revisão	Preparação no concessionário <ul style="list-style-type: none"> • Revisão ao motor (óleo, filtro de óleo, filtro de ar, velas de ignição).
Preparação de ensaios iniciais	Preparação de ensaios iniciais <ul style="list-style-type: none"> • Substituição de filtro de ar. • Ensaios preparatórios. • Verificação de velas de ignição.
Ensaios iniciais em dinamómetro	<ul style="list-style-type: none"> • Sequência de ensaios com PA – desempenho/consumos/emissões. • Sequência de ensaios com PB – desempenho/consumos/emissões.

A Parte 2, que abrangeu os ensaios em laboratório e em estrada, com consumo de PB ao longo de 30k km, está estruturada em cinco fases distintas, designadas de Fase 0 a Fase 4. No entanto, para os propósitos deste estudo, foram analisados apenas os resultados das Fases 0, 2 e 4, que são detalhadas a seguir:

- **Fase 0 (primeiros 7,5 mil km):** Esta fase teve início imediatamente após a conclusão da sequência de ensaios WLTP e de desempenho com PB.
- **Fase 1 (segundo bloco de 7,5 mil km):** Iniciou-se após a conclusão da Fase 0, com a realização de uma nova sequência de ensaios de desempenho.
- **Fase 2 (após 15 mil km):** Após a conclusão da Fase 1, iniciou-se a Fase 2 com a realização de uma sequência de ensaios WLTP e de desempenho.
- **Fase 3 (após 22,5 mil km):** Após a conclusão da Fase 2, iniciou-se a Fase 3 com a realização de outra sequência de ensaios de desempenho.
- **Fase 4 (após 30 mil km):** Nesta fase final, foi realizada uma sequência de ensaios WLTP e de desempenho considerando a utilização de PB. Posteriormente, após verificações e recolha de informação, será conduzida uma nova sequência de ensaios WLTP e de desempenho considerando a utilização de PA.

Na Tabela 6 detalham-se as ações realizadas na Parte 2.

Tabela 6: Descrição cronológica dos trabalhos - Parte 2 - ensaios de estrada (30k km).

Plano de ensaios (Gasolina)	
Momento	Ação
Fase 0 – Aos 0 km	Instalação de “Data Logger” Início dos ensaios em estrada - Utilização do veículo ao longo de 7.5k km
Fase 1 – após 7.5k Km (aprox)	Avaliação intercalar em laboratório <ul style="list-style-type: none"> • Ensaios em dinamómetro – desempenho • Recolha de amostra de óleo lubrificante • Verificação de níveis (registar eventuais diferenças nível/reposição óleo lubrificante) • Recolha de dados “Data Logger”
Fase 1	Ensaios em estrada - Utilização do veículo ao longo de 7.5k km até totalizar 15k km
Fase 2 – após 15k Km (aprox)	Avaliação intercalar em laboratório <ul style="list-style-type: none"> • Ensaios em dinamómetro – desempenho/consumos/emissões • Verificação de velas de ignição • Recolha de amostra de óleo lubrificante • Verificação de níveis (registar eventuais diferenças nível/reposição óleo lubrificante) • Recolha de dados “Data Logger”
Fase 2	Ensaios em estrada - Utilização do veículo ao longo de mais 7.5k km até totalizar 22.5k km
Fase 3 – após 22.5k Km (aprox)	Avaliação intercalar em laboratório <ul style="list-style-type: none"> • Ensaios dinamómetro – desempenho • Recolha de amostra de óleo lubrificante • Verificação de níveis (registar eventuais diferenças nível/reposição óleo lubrificante) • Recolha de dados “Data Logger”
Fase 3	Ensaios em estrada - Utilização do veículo ao longo de mais 7.5k km até totalizar 30k km
Fase 4 – após 30k Km (aprox.)	Preparação de ensaios finais <ul style="list-style-type: none"> • Substituição de filtro de ar. Avaliação final em laboratório <ul style="list-style-type: none"> • Ensaios em dinamómetro com PB e PA – desempenho/consumos/emissões • Verificação de velas de ignição • Ensaios em dinamómetro PA – desempenho/consumos/emissões • Recolha de amostra de óleo lubrificante • Verificação de níveis (registar eventuais diferenças nível/reposição óleo lubrificante) • Recolha de dados “Data Logger”

Na Tabela 7 esquematiza-se de forma resumida a sequência cronológica dos trabalhos da Parte 1 e Parte 2 descritos na Tabela 5 e Tabela 6.

Tabela 7: Representação esquemática da sequência cronológica dos trabalhos.

	Parte1	Parte 2							
	Fase 0 (início)	Estrada 7.5k km →	Fase 1	Estrada 7.5k km →	Fase 2	Estrada 7.5k km →	Fase 3	Estrada 7.5k km →	Fase 4 (final)
Sequência de ensaios de desempenho			X				X		
Sequência de Ensaios de desempenho*	X				X				X
Amostra de óleo lubrificante			X		X		X		X
Verificação de velas de ignição	X		X		X		X		
Consumos WLTP	X				X				X
Recolha de dados OBD - Dinamómetro	X		X		X		X		X
Recolha de dados OBD - <i>Data Logger</i> **		X		X		X		X	

*Na fase 0 e na Fase 4 são realizadas duas sequências de ensaios WLTP e desempenho com PA e com PB.

***Data Logger* – Informação recolhida da ECU do motor via OBD para controlo de consumos, trajetos, condições ambientes, parâmetros do motor, parâmetros de condução e outros.

Na Tabela 7, estão apresentados dados que não serão abordados neste projeto, no entanto, foram recolhidas amostras de óleo e verificado o estado das velas de ignição de modo a aferir o impacto nos componentes internos do motor, assim como foi analisado as emissões do veículo para a longo prazo perceber a influencia que o combustível teve no sistema de tratamento de gases de escape e compreender o impacto ambiental comparativamente ao combustível anterior.

3.2. Equipamentos utilizados

Para a realização do estudo, recorreu-se a equipamentos específicos disponíveis no Laboratório de Engenharia Automóvel da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria. Nas secções que se seguem são explicados com detalhe os equipamentos utilizados e as medições realizadas nesta instalação experimental. A interligação entre esses equipamentos pode ser resumida no esquema apresentado na Figura 13.

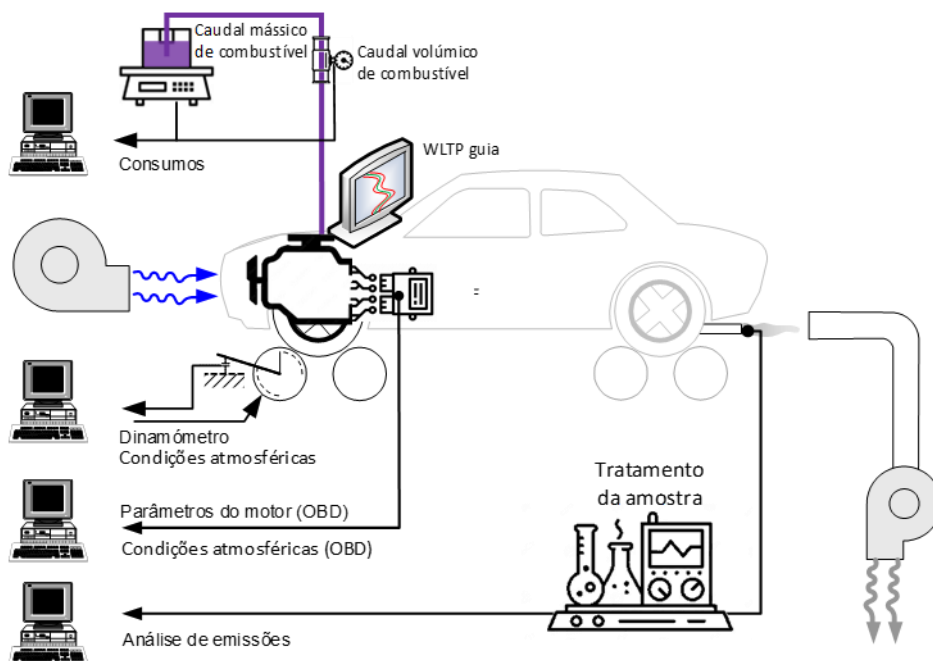


Figura 13 - Esquema global da montagem experimental efetuada.

3.2.1. Seleção de veículos para o estudo

Diesel

Para os ensaios com o combustível diesel, foi selecionada uma viatura representativa da frota de veículos mais comuns em Portugal, nomeadamente veículos equipados com motor diesel com 1461 cm³ de cilindrada com sistema common-rail. A opção recaiu sobre um veículo familiar da classe C. Deste modo foi selecionado o modelo Renault Mégane. Informações mais detalhadas sobre o motor e o veículo estão disponíveis na Tabela 8.

Tabela 8 - Características do veículo diesel usado nos ensaios.

VEÍCULO	
Modelo	Mégane IV
Motor	1.5 Blue dCi (115 cv)
Ano	2020
Norma de emissões	Euro 6D
ESPECIFICAÇÕES DO MOTOR	
Potência	115 cv @ 3750 RPM
Binário	260 Nm @ 2000 RPM
Cilindrada	1461 cm ³
Sistema de alimentação de combustível	Diesel – Common-rail

Sistema de admissão

Turbocompressor + *intercooler*

Na Tabela 8, observa-se que o motor funciona de acordo com o ciclo Dieselé capaz de produzir 115 cv de potência às 3750 RPM, com um binário de 260 Nm às 2000 RPM.

Gasolina

Para analisar os efeitos da utilização de gasolina do presente estudo, optou-se por selecionar um veículo representativo do mercado português de veículos ligeiros a gasolina, especialmente aqueles equipados com motores de baixa cilindrada. Neste contexto, foi escolhido um veículo com um motor sobrealimentado de injeção direta de 1300 cm³, comumente conhecido pela designação GDI (*Gasoline Direct Injection*).

Considerando os critérios estabelecidos, o modelo escolhido foi o Renault Mégane Sport Tourer IV 1.3 TCe, um veículo familiar da classe C. As características detalhadas deste modelo podem ser encontradas na Tabela 9. O veículo foi selecionado para o processo de ensaio com 45.714 km já percorridos.

A escolha de um veículo com quilometragem prévia, em linha com uma utilização similar à que será submetida durante os testes, permite a análise de quaisquer alterações ocorridas em relação ao seu estado inicial, o que proporciona uma visão mais abrangente das possíveis mudanças decorrentes do uso do veículo em condições normais.

Tabela 9: Características do veículo (de acordo com os dados do fabricante). Fonte: Documentação técnica fornecida pela concessionária.

VEÍCULO	
Modelo	Mégane Sport Tourer IV
Motor	1.3 TCe (103 kW)
Ano	2021
Norma de emissões	Euro 6D
ESPECIFICAÇÕES DO MOTOR	
Potência	140 cv @ 5000 RPM
Binário	240 Nm @ 1600 RPM
Cilindrada	1332 cm ³
Sistema de alimentação de combustível	Injeção direta
Sistema de admissão	Turbocompressor + <i>intercooler</i>
Sistema de tratamento de gases	Catalisador, Filtro de partículas (AVFAP)

Não foi possível determinar o histórico completo de utilização e manutenção do veículo até à data de início dos testes. No entanto, antes de iniciar os testes para o presente projeto, o veículo foi submetido a testes com combustível comercial (PA) para caracterizar o seu estado inicial e avaliar o estado de funcionamento do motor de acordo com as especificações do fabricante. Verificou-se que, no início dos testes, com o veículo a contar 47.714 km, não foram detetadas quaisquer anomalias.

3.2.2. Dinamómetro MAHA LPS 3000

Um equipamento fundamental para a realização de ensaios de desempenho em veículos é o banco de ensaio de veículos. Embora seja reconhecido que possa haver alguma perda de precisão nos resultados em comparação com os ensaios em dinamómetro de motores, devido ao fato dos valores do funcionamento do motor serem obtidos indiretamente, este método é, no entanto, mais fácil e rápido para avaliar o desempenho e as curvas características de um motor de combustão interna.

Preparar e posicionar um veículo para o ensaio no dinamómetro leva pouco tempo, apenas algumas horas, ao passo que preparar uma instalação para realizar ensaios num dinamómetro de motores pode levar vários dias. Contudo, é importante salientar que, no banco de ensaio de veículos, a medição da potência é realizada nas rodas motrizes, o que envolve diversos componentes, desde as rodas até ao motor, introduzindo influências não completamente controladas nos resultados obtidos.

O equipamento utilizado para os ensaios, cuja fotografia se apresenta na Figura 14, é o banco de ensaio de veículos da marca MAHA, modelo LPS 3000 - R100/2, capaz de testar veículos com tração nos dois eixos. Os dinamómetros utilizados em ambos os eixos são elétricos e podem absorver até 260 kW cada, e são do tipo magnético (*eddy current*). A velocidade máxima permitida por este sistema é de 260 km/h. Um dos fatores que limita a sua utilização é a componente de arrefecimento. Embora os ensaios em veículos possam ser realizados até velocidades de 260 km/h, o ventilador de arrefecimento só permite uma velocidade máxima do ar de 98 km/h. Consequentemente, não é possível garantir a simulação das condições de refrigeração do motor que ocorrem durante o uso normal do veículo em estrada, caso as velocidades ultrapassem esse valor. (MAHA, 2021)



Figura 14 - Imagem do banco de ensaio de veículos instalado no Laboratório de Engenharia Automóvel do Instituto Politécnico de Leiria.

Abaixo, apresenta-se um resumo das características do banco de ensaio de veículos utilizado:

Tabela 10 - Resumo das características do banco de ensaio de veículos usado. (MAHA, 2021)

Características técnicas	MAHA LPS 3000 – R100/2
Capacidade de carga por eixo	2850 kgf
Tipo de veículos suportados	Veículos ligeiros
Dinamómetros	Elétricos
Capacidade dos dinamómetros	Até 260 kW cada eixo
Princípio de funcionamento dos dinamómetros	Magnético (Correntes de <i>Eddy</i>)
Tolerância de medição	± 2%
Potência máxima (tração em ambos os eixos)	710 cv
Potência máxima (tração em apenas um eixo)	335 cv
Velocidade máxima permitida	260 km/h
Velocidade máxima do ventilador de arrefecimento	98 km/h

O dinamómetro utilizado oferece a capacidade de efetuar as seguintes avaliações (MAHA, 2021):

1. Potência máxima instantânea.
2. Potência em regimes de rotação predefinidos.
3. Potência a velocidades predefinidas.
4. Simulação de cargas, incluindo peso, aerodinâmica e declive.

5. Recuperações.
6. Calibração do odômetro (conta-quilômetros) instantâneo e totalizador.
7. Calibração do taquímetro (conta-rotações).
8. Análise de emissões sob carga.

Estas funcionalidades proporcionam uma ampla gama de avaliações e análises possíveis, permitindo uma investigação detalhada e precisa do desempenho dos veículos testados no dinamómetro.

3.2.3. Descrição de funcionamento

O funcionamento deste equipamento baseia-se na obtenção do valor do binário transmitido ao rolo pela roda do veículo em ensaio. O rolo está solidário com o dinamómetro, ao qual é aplicada uma força de travagem, contrariando assim a força imposta pela roda do veículo. O binário de travagem é medido com base na força exercida por um elemento solidário com o estator do freio e fixo numa célula de carga situada a uma distância " b " do eixo de rotação dos rolos, como ilustrado na Figura 15.

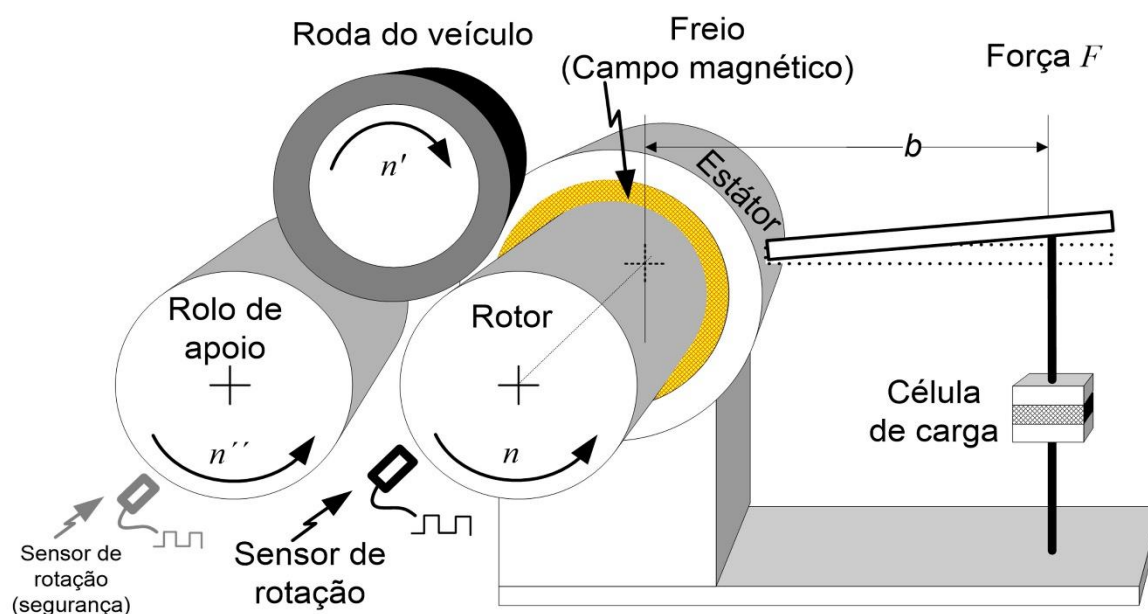


Figura 15 - Princípio de medição da potência com banco de ensaios de rolo utilizando um dinamómetro com funcionamento magnético (Fonseca Pereira, 2001).

Para que o dinamómetro consiga impor ao sistema propulsor do veículo testado condições mais semelhantes às encontradas na circulação em estrada, é necessário utilizar informações que permitam simular a carga a que o veículo estará sujeito quando circula a uma

determinada velocidade em trajeto reto e plano. Além disso, é possível ajustar o esforço para simular um declive. Nestas condições de uso do dinamómetro, é imprescindível fornecer o valor da massa do veículo e o coeficiente de arrasto aerodinâmico, para que o sistema possa impor a resistência aerodinâmica correspondente. Antes de realizar o ensaio, é igualmente importante avaliar a resistência ao rolamento. Este processo pode ser realizado embalando o veículo até uma dada velocidade e desembraiando-o. Ao adotar estas informações e procedimentos, o dinamómetro é capaz de proporcionar condições mais próximas às reais, possibilitando avaliações mais precisas do desempenho do veículo sob diferentes circunstâncias e permitindo a obtenção de resultados mais representativos dos cenários de circulação em estrada.

3.2.4. Testes realizados no dinamómetro

No presente trabalho, foi considerada a realização de três tipos de ensaios: ciclos WLTP e testes de desempenho (potência e binário), discretos e contínuos. Estes ensaios serão detalhados de seguida neste subcapítulo. Durante estes ensaios, são efetuadas várias medições e adquiridos um vasto conjunto de dados, seguindo um procedimento predefinido que abrange diversos métodos apresentados e descritos neste capítulo. Antes da realização da sequência daqueles ensaios, é realizado um ciclo WLTP para assegurar o aquecimento e estabilização das temperaturas dos veículos.

Conforme apresentado na Tabela 11, para cada ensaio, foi realizada a seguinte sequência de ensaios.

Tabela 11: Sequência dos ensaios WLTP e desempenho.



Para realizar os ensaios em dinamómetro com a fiabilidade e precisão necessárias nos resultados, foram implementados vários sistemas de aquisição. Estes sistemas garantem a sincronização e precisão dos valores obtidos, além de assegurar o armazenamento dos dados relevantes sobre o funcionamento do motor e do veículo. Os dados objeto de registo foram:

- Parâmetros relativos ao funcionamento do motor, adquiridos através da porta OBD II existente no veículo.
- Dados sobre o funcionamento do veículo, como velocidade e potência à roda, obtidos pelos sensores do dinamómetro.

- Consumo de combustível, medido pela balança que registra a diferença de massa do reservatório de combustível.

3.2.5. Testes de desempenho – testes contínuos e testes discretos

Os testes de desempenho permitiram medir a potência e o binário do motor, aferindo neste caso, se, e de que modo, os combustíveis em análise afetaram as capacidades do motor para aproveitar a energia disponível.

Para a obtenção dos resultados pretendidos (Potência e Binário do motor), o dinamômetro mede a Potência à roda, à qual se soma a Potência de perdas na transmissão obtida no processo de desaceleração. Após a obtenção destes dois parâmetros, obtém-se o valor de Potência do motor, valor este que já é corrigido em função das condições ambientais (segundo a norma definida), assumindo assim a designação de “Potência da Norma”. Através deste valor de Potência, dividindo pela rotação correspondente obtém-se o valor do Binário disponibilizado pelo motor. Foi selecionada a correção de acordo com a norma que é também a utilizada pelo fabricante para anúncio das características do motor.

Para a realização destas medições, o dinamômetro vai impondo consecutivamente valores maiores de resistência tanto quanto o motor consiga disponibilizar. Os testes contínuos são mais rápidos de realizar, porque correspondem a um processo mais dinâmico e transiente. Neste, o veículo é posto em movimento engrenando todas as relações de transmissão até alcançar a relação de transmissão desejada, geralmente a relação mais direta (1:1), que normalmente corresponde à 4ª ou 5ª velocidade. Uma vez alcançada a estabilidade de rolamento em baixa velocidade (até 50km/h), o pedal do acelerador é pressionado até atingir o curso máximo (WOT - *Wide Open Throttle*), e a medição da potência na roda é iniciada. Quando a rotação máxima pretendida para o teste é alcançada, o motor é desembraiado, permitindo que as rodas girem livremente para traçar a curva de potência consumida pelas transmissões. A curva de potência do motor é, então, obtida pela soma das curvas de potência na roda com a curva de perdas nas transmissões.

No teste discreto, as medições são realizadas em pontos de rotação pré-definidos considerados relevantes para a devida caracterização do motor, com o veículo em regime estacionário. O procedimento é semelhante ao teste contínuo, onde o veículo é colocado em movimento nas mesmas condições. No entanto, neste caso, quando o motor atinge as rotações predefinidas, estabelecidas previamente na máquina, o freio é acionado para criar

uma resistência ao movimento. Esta resistência mantém o motor com a mesma rotação durante um período de tempo, também definido pelo operador. Foi escolhido um período de 2 segundos para os ensaios a gasolina e 3 segundos para os ensaios a diesel. Durante esse intervalo de tempo, às rotações indicadas, são realizadas as medições necessárias, presentes na Tabela 12. Os testes discretos permitem aferir de modo mais preciso e comparável o valor de Binário e correspondente Potência desenvolvidos àquela rotação.

Tabela 12: Pontos de rotação escolhidos para realizar os testes discretos.

Tipo de combustível	Pontos de rotação escolhidos [RPM]									Potência máxima	Binário máximo
	1250	1750	2250	2750	3250	3750	4250	...	5250		
DIESEL	X	X	X	X	X	X	X			85 kW @3750 RPM	260 Nm @2000 RPM
GASOLINA			X		X		X		X	107 kW @5000 RPM	248 Nm @1600 RPM

3.2.6. Medição de consumo de combustível

A medição de consumo de combustível foi realizada experimentalmente através de uma metodologia que permite avaliar este parâmetro de forma independente e duplicada. Dada a importância da medição precisa e fiável do valor de consumo de combustível e dada a dificuldade inerente à medição pretendida, pelas várias circunstâncias associadas à alteração volumétrica pela diferença de temperatura, volatilidade e possível formação de bolhas de vapor, foi efetuada esta medição através de dois equipamentos conforme apresentado na montagem experimental apresentada na Figura 16.

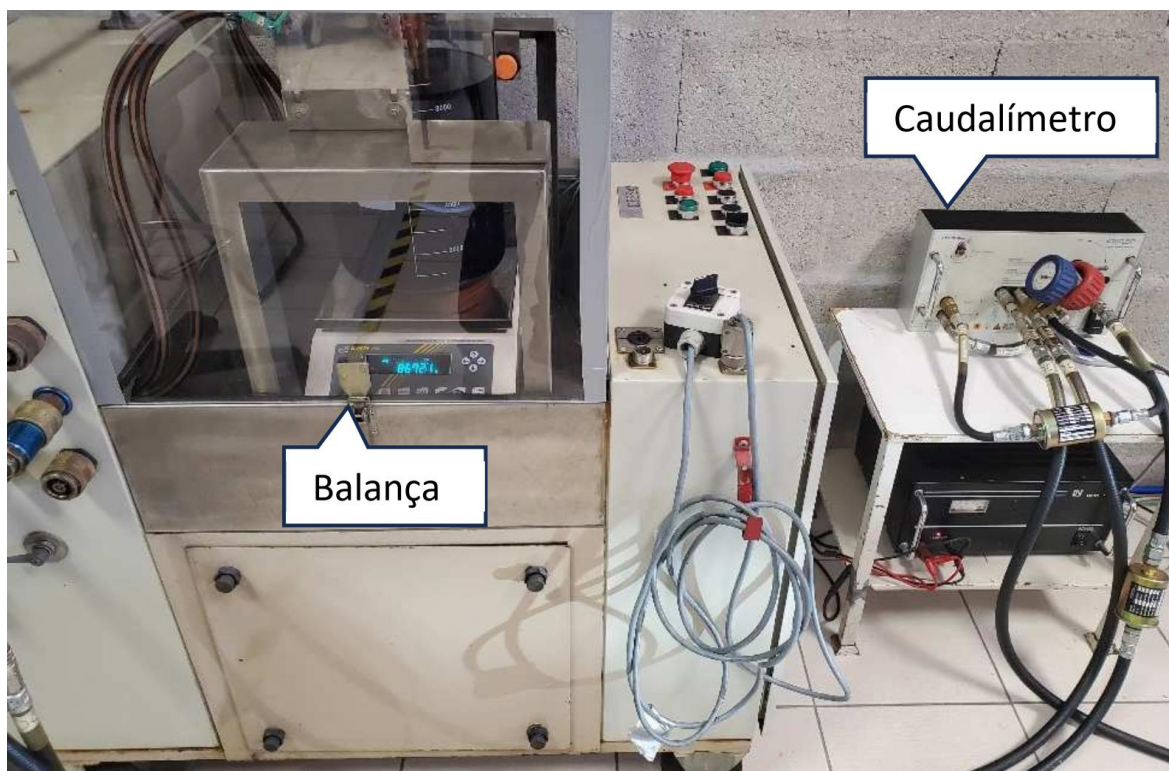


Figura 16: Equipamentos da montagem experimental para medição de consumos de combustível.

A montagem experimental para a medição de consumos, esquematizada na Figura 13 é constituída por um circuito de combustível independente relativamente ao circuito de combustível do veículo e é constituído por uma balança (medição de massa de combustível), sensor de temperatura de combustível (correções na conversão de massa/volume), caudalímetro (medição de volume de combustível) e bomba de alimentação. Deste modo, o circuito de alimentação do veículo é anulado, passando o combustível para o motor a ser fornecido apenas por esta montagem experimental que considera os dois sistemas de medição (caudalímetro) e balança em série.

A medição da massa de combustível é feita através de uma balança eletrónica KERN PES, que oferece uma precisão de 0,1 g e suporta medições no máximo até 31000 g e no mínimo até 5 g. Sobre a balança é posicionado um recipiente de vidro de onde o combustível é aspirado para o motor do veículo e retorna por meio de um segundo tubo. Vale salientar que este método de medição do consumo (gravimétrico) proporciona valores mais precisos, uma vez que será independente relativamente à densidade dos combustíveis, o que é importante dado que estes contêm diferentes valores de massa volúmica.



Figura 17: Sistema utilizado para medição do consumo e temperatura de combustível nos ensaios realizado em dinamómetro.

Sempre que se procede à troca do combustível em análise, é efetuada uma limpeza a toda a montagem experimental e ao circuito de combustível do motor, de modo que não exista contaminação entre os produtos em análise.

3.2.7. Consumo de combustível – ciclo WLTP

Conforme já descrito anteriormente, em 2.3.1 Ciclo de condução WLTP, a realização do ciclo WLTP permite avaliar o consumo de combustível e as emissões, procurando reproduzir as condições reais de utilização do veículo em estrada.

Para realizar estes ensaios, o procedimento inicia-se com um pré-teste, correspondente a um ciclo WLTP, cujo objetivo é garantir as condições ideais de funcionamento do veículo para os ensaios subsequentes, estabilizando a temperatura dos sistemas do motor e da transmissão, ver Tabela 12. Posteriormente, procede-se à medição do consumo num ciclo WLTP que consiste em 3 repetições. O consumo de combustível foi determinado pela média dos valores obtidos nestes 3 testes, desde que as diferenças entre eles sejam aceitáveis. No caso de uma diferença significativa entre os testes, o resultado mais discrepante é descartado e a média é calculada com base nos dois valores mais próximos.

O cálculo do consumo médio de combustível em cada ensaio foi realizado com base na quantidade de combustível consumida em cada ciclo, medida em gramas (g), e na distância

percorrida pelo veículo, medida em quilómetros (km). Este valor foi então convertido para uma unidade volumétrica usando a densidade do combustível, que é de 750 kg/m^3 para a PA e a PB. A vantagem de efetuar a medição em massa é que esta não está dependente da temperatura, pelo que se torna mais precisa a medição sobre a quantidade de energia fornecida ao motor. O cálculo do consumo através do volume é efetuado através do somatório do caudal de combustível consumido durante o ciclo, medido através do caudalímetro em ml/s com uma taxa de aquisição de 10 Hz.

3.2.8. Consumo de combustível em estrada

O consumo nos testes de estrada (Parte 2) foi monitorado através do controlo do volume de combustível utilizado e da distância percorrida pelo veículo. A quilometragem percorrida foi registada pelo odómetro do veículo, enquanto o volume de combustível foi monitorado por meio do controlo dos abastecimentos realizados. Além disso, para garantir o controlo e a validação dos consumos em estrada, foram utilizadas informações provenientes do computador de bordo do veículo, bem como do *Data logger* conectado à ficha OBD. Este último, além de fornecer dados de funcionamento do motor, também regista informações de posicionamento geográfico (GPS), ver secção seguinte 3.2.9 Sistema de aquisição de dados com ligação OBD II e GPS.

De modo a proceder ao cálculo do consumo em estrada, foi elaborada uma folha de registo de abastecimentos, preenchida pelo condutor a cada abastecimento efetuado, com os quilómetros do veículo e a média indicada no odómetro nesse momento, ver Tabela 13. Este registo permitiu calcular o consumo entre abastecimentos e o consumo mensal em estrada segundo três métodos, detalhados mais à frente nesta secção.

Tabela 13: Folha de registo de abastecimentos referentes ao mês de agosto, para o veículo a gasolina.

Estudo sobre a metodologia aplicada em testes de veículos utilizando combustíveis de baixo carbono

Data	Valor do odômetro [km]	Quilômetros percorridos [km]	Consumo indicado no quadrante [L]	Consumo médio calculado [l/100km]	RESET consumo	Quantidade de combustível abastecido [L]	Operador
dia/mês/ano					"X"		
28/jul/23	53778	563	6,1	-	X	37,5	JB
01/ago/23	54277	499	6,9	7,52	X	37,5	JB
01/ago/23	54925	648	7,0	5,79	X	37,5	LS
16/ago/23	55359	434	7,1	8,64	X	37,5	LS
18/ago/23	55985	526	6,3	7,13	X	37,5	LS
21/ago/23	56430	445	7,2	8,43	X	37,5	LS
23/ago/23	56992	562	6,0	6,67	X	37,5	LS
25/ago/23	57681	689	6,0	5,44	X	37,5	LS
28/ago/23	58185	509	6,6	7,37	X	37,5	LS
TOTAL		4312	6,6	7,1		300,0	

O consumo médio entre abastecimentos foi calculado através do rácio entre os litros de combustível abastecidos e os quilómetros percorridos entre abastecimentos, como indicado na Tabela 14.

Tabela 14: Valores usados para o cálculo do consumo de combustível entre abastecimentos, para o veículo a gasolina.

Data	Valor do odômetro [km]	Quilômetros percorridos [km]	Consumo indicado no quadrante [L]	Consumo médio calculado [l/100km]	RESET consumo	Quantidade de combustível abastecido [l]	Operador
dia/mês/ano					"X"		
28/jul/23	53778	563	6,1	-	X	37,5	JB
01/ago/23	54277	499	6,9	7,52	X	37,5	JB

O consumo mensal em estrada foi calculado através de três métodos: a média do consumo entre abastecimentos, a média do consumo indicado no painel de instrumentos “quadrante” do veículo e a média global dos abastecimentos, esta última determinada através do rácio entre o total de litros de combustível abastecidos e o total de quilómetros percorridos mensalmente, como indicado na Tabela 15.

Tabela 15: Cálculo do consumo mensal em estrada.

Data dia/mês/ano	Valor do odômetro [km]	Quilômetros percorridos [km]	Consumo indicado no quadrante [L]	Consumo médio calculado [l/100km]	RESET consumo "X"	Quantidade de combustível abastecido [l]	Operador
28/jul/23	53778	563	6,1	-	X	37,5	JB
01/ago/23	54277	499	6,9	7,52	X	37,5	JB
01/ago/23	54925	648	7,0	5,79	X	37,5	LS
16/ago/23	55359	434	7,1	8,64	X	37,5	LS
18/ago/23	55985	526	6,3	7,13	X	37,5	LS
21/ago/23	56430	445	7,2	8,43	X	37,5	LS
23/ago/23			6,0	6,67			LS
25/ago/23			6,0	5,44			LS
28/ago/23	58185	509	6,6	7,37	X	37,5	LS
TOTAL		4312	6,6	7,1		300,0	

3.2.9. Sistema de aquisição de dados com ligação OBD II e GPS

Durante a realização dos ensaios em dinamómetro, foram recolhidos dados referentes aos parâmetros de funcionamento do motor (ver Figura 13), obtidos através da porta OBD presente nos veículos. Esta recolha teve como objetivo verificar se as condições de operação do veículo estavam em conformidade com os requisitos de cada tipo de ensaio realizado (ciclo WLTC, ensaios de potência contínuos e discretos) e/ou identificar possíveis fontes de discrepância nos parâmetros de funcionamento do motor que puderem afetar os resultados, caso estes estejam fora do esperado.

A leitura dos dados foi realizada a uma taxa de aquisição de 10 Hz e, de modo geral, foram adquiridos os seguintes parâmetros:

- Parâmetros relativos às condições atmosféricas;
- Temperaturas de operação do motor (óleo lubrificante, líquido de refrigeração, etc.);
- Parâmetros de controlo do sistema de injeção de combustível e ignição;
- Temperatura dos gases de escape;
- Condições de sobrealimentação.

A leitura dos dados pode ser feita em tempo real, utilizando o *software* de registo, ou posteriormente, por meio do processamento dos arquivos gerados (ver Figura 18).

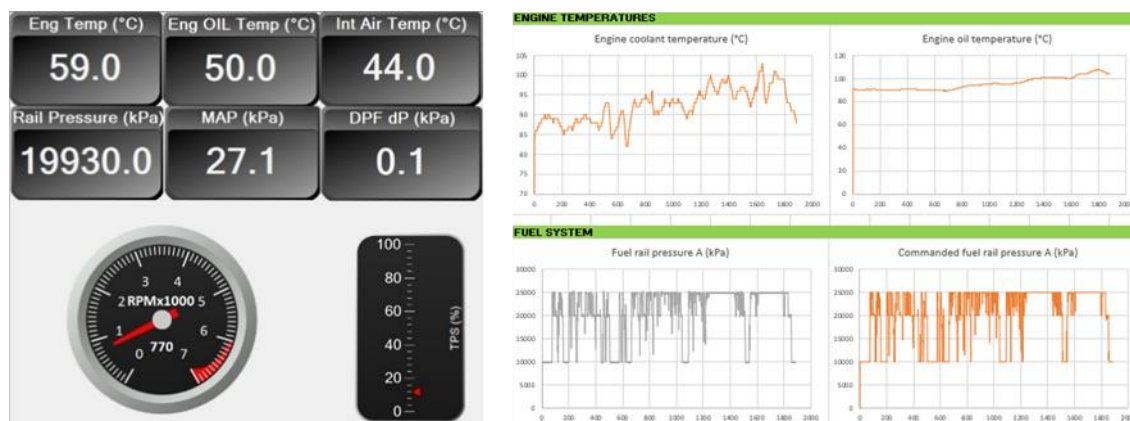


Figura 18: Interface do software de registo de dados e tratamento de dados em Excel.

Com objetivos semelhantes ao descrito para os ensaios em dinamómetro, nos testes de estrada do veículo a gasolina foram igualmente recolhidos dados de funcionamento do motor e do veículo através de um *data logger*, como mencionado na Tabela 7. Este dispositivo possui ainda um localizador GPS que permite uma monitorização geográfica da utilização do veículo nos testes de estrada. Os dados resultantes desta medição encontram-se detalhados de seguida na secção 2.6.

Para adquirir dados através da porta OBD e receber o sinal GPS, escolheu-se o equipamento CANedge2 da marca CSS Electronics, conforme ilustrado na Figura 19. Este sistema reconhece o veículo ao conectar-se à porta OBD e utiliza um cartão de memória SD com capacidade de 8 *gigabytes* para registar as informações. Além disso, o equipamento está equipado com tecnologia GNSS/IMU, que fornece dados como posição, velocidade, altitude, aceleração do veículo, entre outros.

Os dados obtidos pelo sistema de aquisição a uma taxa de 10 Hz, são guardados num formato "csv" (*comma separate value*) que é compatível com o *software* Microsoft Excel. Com esta ferramenta, é possível aceder a todos os dados de forma a processá-los e utilizá-los por meio da análise mais adequada ao objetivo desejado. Os parâmetros de funcionamento do veículo que se consideraram mais relevantes para acompanhar as condições de circulação durante os testes em estrada, semanalmente (da semana 33 à semana 52), foram, através dos valores médios e máximos, a temperatura do motor, temperatura de óleo, temperatura ambiente e velocidade do veículo.



Figura 19: Dispositivo *data logger* instalado no veículo de testes (Electronics, 2024).

3.2.10. Testes em Estrada

Nesta secção descreve-se a metodologia e as condições de funcionamento do veículo a gasolina nos testes de estrada, uma vez que apenas este foi monitorizado durante estes testes. Os testes de estrada foram iniciados na semana 27 de 2023 (início do mês de julho) e realizados até à semana 52 (final do mês de dezembro). Portanto, os testes abrangeram do pico do verão ao pico do inverno.

Diariamente foi preenchido um documento com o tipo de percurso e utilização do veículo, nomeadamente percentagem de regime urbano, misto e autoestrada, assim como os quilómetros indicados no odómetro no início de cada viagem. A título de exemplo, na Figura 20 apresenta-se um excerto desse documento relativo a período de 11 a 23 do mês de agosto.

Registo de circulação em estrada

Veículo: Megane AH 81 RI

mês
Agosto

POLITÉCNICO DE LEIRIA
Delegação ADAI - IPEleiria

Dia	Hora início	km	Tipologia de circuito			Destino	casos ABCD
	hh:mm	valor do odómetro	% Urbano	% Misto	% Auto-estr.	local mais distante	
1	11/08 11:00	55101	10	90	0	C. BEITÃO	—
2	12/08 10:00	55101	5	5	30	SATAO	—
3	16/08 07:00	55348	10		90	Lisboa - BARRIOS	—
4	17/08 08:45	55662	10		90	GIMBOS	—
5	18/08 08:00	55889	30		70	Pensfield	—
6	19/08 18:00	56142	0	100	0	Fundels	—
7	20/08 11:45	56267	0	100	0	Gimbos	—
8	21/08 08:00	56337	10	20	70	Arcois	—
9	22/08 08:00	56492	10	80	10	Vila	—
10	23/08 09:00	56750	10	90	10	Lisboa - BARRIOS - ENAFEL	—

Figura 20: Documento de registo do tipo de percursos efetuados em estrada.

Como forma de complementar este registo e, mais importante, monitorizar as condições de funcionamento do veículo durante os testes em estrada, procedeu-se à instrumentação do veículo através de um *data logger* conectado à porta OBD, com um módulo GPS externo, ver secção 3.2.9 Sistema de aquisição de dados com ligação OBD II e GPS.

Este dispositivo permitiu registar os valores instantâneos dos parâmetros de funcionamento e controlo do motor, e sincronizar os mesmos com os dados de localização, velocidade e aceleração registados através do módulo GPS. Note-se que os testes em estrada foram iniciados na semana 27 de 2023, mas, por questões operacionais, o veículo só foi instrumentado a partir da semana 33.

3.2.11. Percursos em estrada

Na Figura 21 encontra-se representado o mapa dos percursos efetuados em estrada entre as semanas 33 e 52 do ano 2023. É possível verificar que a atividade do veículo se concentrou na zona Centro do país, com deslocações regulares às zonas Norte e Sul. O registo dos percursos realizados pelo condutor permitiu fazer um levantamento da tipologia das viagens segundo três regimes: urbano, misto e autoestrada. No total, foram percorridos 30.372 km. Apenas foi possível fazer esta análise para os meses de julho, agosto e setembro, semanas 27-31, 31-35 e 35-39 respetivamente, dada a ausência deste registo nos restantes meses do estudo.

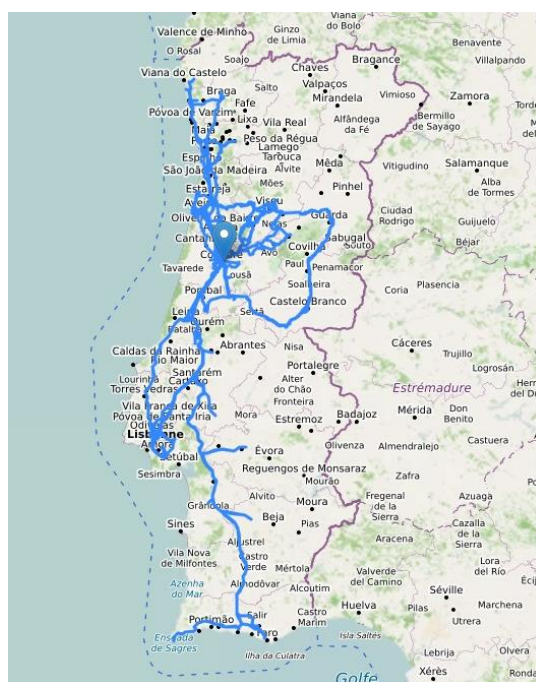


Figura 21: Percursos efetuados em estrada de agosto a dezembro (Semana 33 a 52) de 2023 (*data logger*).

No Gráfico 1 apresentam-se em percentagem da distância percorrida, a tipologia das viagens percorridas naquele período.

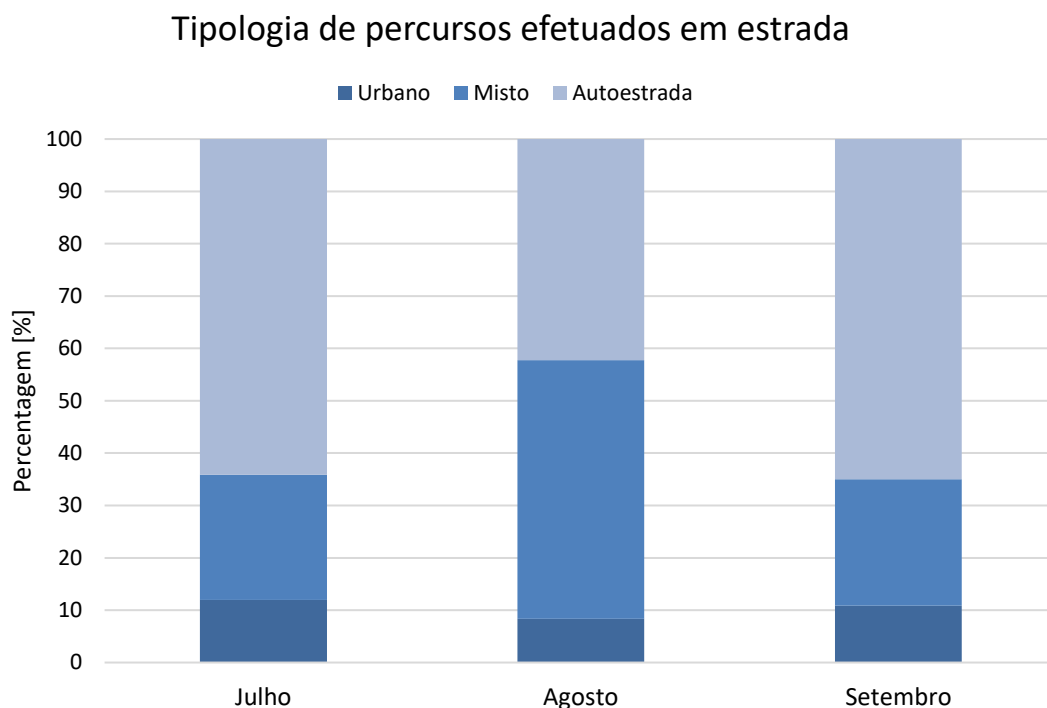


Gráfico 1: Tipologia dos percursos nos testes de estrada (julho, agosto e setembro, semanas 27-31, 31-35 e 35-39 respetivamente - registos do condutor.

Na análise do Gráfico 1, realizado com base nos registos dos condutores nas semanas 27-31, 31-35 e 35-39, é possível verificar que os percursos foram realizados maioritariamente em regime misto e em autoestrada. Em regime urbano, foram realizadas apenas cerca de 10% das deslocações. Atendendo a que os valores registados pelo veículo durante todo o estudo não apresentaram valores significativamente diferentes, e de que o veículo foi utilizado pelo mesmo condutor num tipo de utilização idêntico, pode-se concluir que o mês de setembro é representativo do perfil de condução em todo o estudo.

3.2.12. Monitorização de parâmetros de funcionamento do veículo

Nesta secção, são apresentados os parâmetros de funcionamento do veículo que se consideraram mais relevantes para acompanhar as condições de funcionamento durante os testes em estrada. Este registo foi efetuado semanalmente (da semana 33 à semana 52), com uma taxa de aquisição de 10 Hz, através dos valores médios e máximos de temperatura do motor, temperatura de óleo, temperatura ambiente e de velocidade do veículo registados

através do *data logger* instalado na ficha OBD. Note-se que, conforme já foi referido, por questões logísticas, este registo só foi iniciado após os 7.5k km do teste.

No Gráfico 2 apresenta-se o registo semanal da temperatura de funcionamento do motor. As linhas verticais fazem referência aos momentos de realização dos ensaios laboratoriais de acompanhamento realizados a cada 7.5k km. Neste gráfico, é possível verificar uma homogeneidade nos valores médios e máximos de temperatura ao longo de todas as semanas. O valor médio de temperatura foi de aproximadamente 84°C, enquanto o valor máximo registado foi de 106°C. Estes valores indicam o funcionamento do motor dentro da gama “normal” definida pelo fabricante no que diz respeito a este parâmetro. A existência de valores anormais de temperatura (por excesso ou por defeito), seriam indicadores de avaria ou de esforço anormal no motor e poderiam comprometer o funcionamento do motor em termos de desempenho, desgaste e consumo de combustível, e, conseqüentemente, afetar os resultados do estudo.

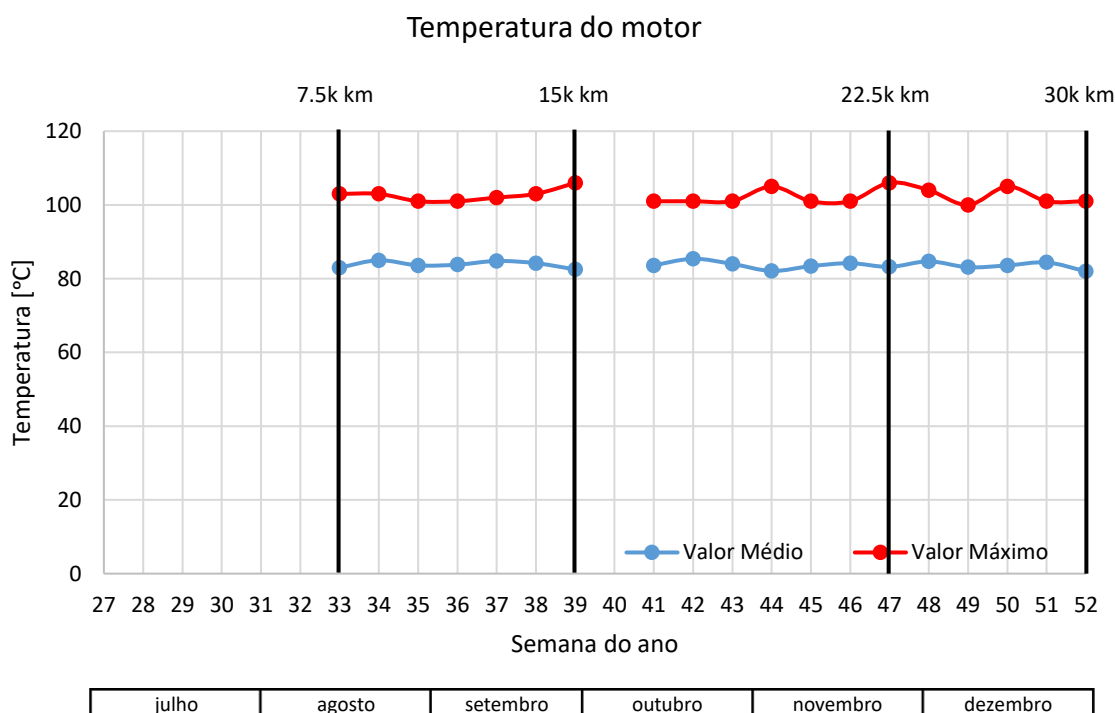


Gráfico 2: Valores médios e máximos de temperatura do motor em cada semana do estudo (OBD).

No Gráfico 3 apresenta-se o registo semanal da temperatura de óleo do motor. É possível verificar uma homogeneidade nos valores médios e máximos de temperatura ao longo de todas as semanas. O valor médio de temperatura foi de aproximadamente 87°C, enquanto o valor máximo registado foi de 102°C. Estes valores indicam o funcionamento do motor

dentro da gama “normal” definida pelo fabricante no que diz respeito a este parâmetro. A existência de valores anormais de temperatura de óleo (por excesso ou por defeito), seriam indicadores de avaria ou esforço anormal no motor e poderiam comprometer o funcionamento do motor em termos de desempenho, desgaste e consumo de combustível e, conseqüentemente, acelerar a degradação do óleo lubrificante.

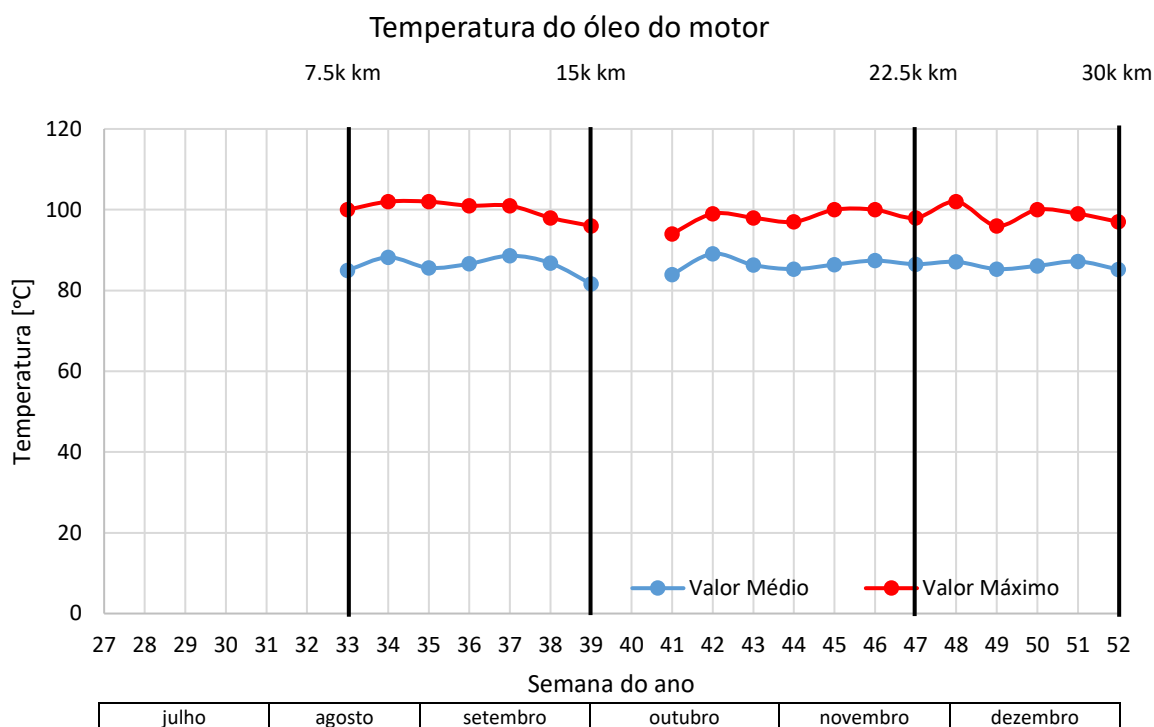


Gráfico 3: Valores médios e máximos de temperatura de óleo do motor em cada semana (OBD).

No Gráfico 4 apresenta-se o registo semanal da temperatura ambiente medida pelo veículo nos percursos efetuados e mostrados na Figura 21. É possível verificar uma diminuição normal dos valores médios e máximos de temperatura ambiente ao longo das semanas, dado os testes terem iniciado em julho e terminado em dezembro. No início do estudo registaram-se valores médios na ordem dos 30°C e máximos na ordem dos 40°C, enquanto no final do estudo a temperatura apresentava valores médios de 10°C e máximos de 20°C.

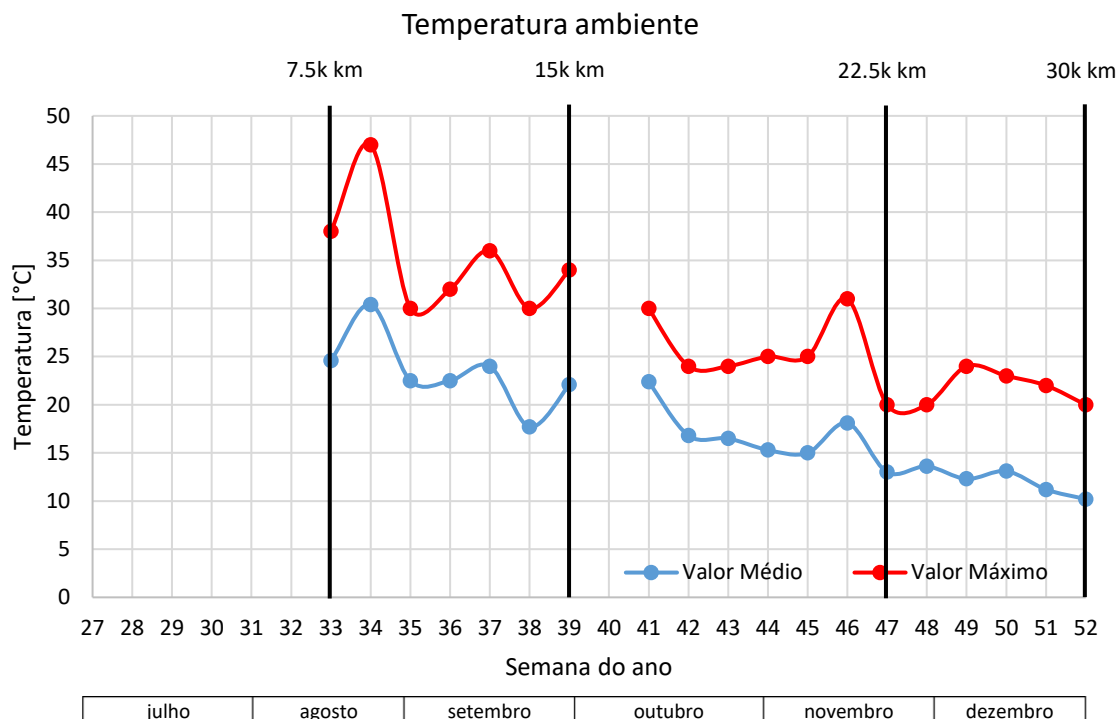
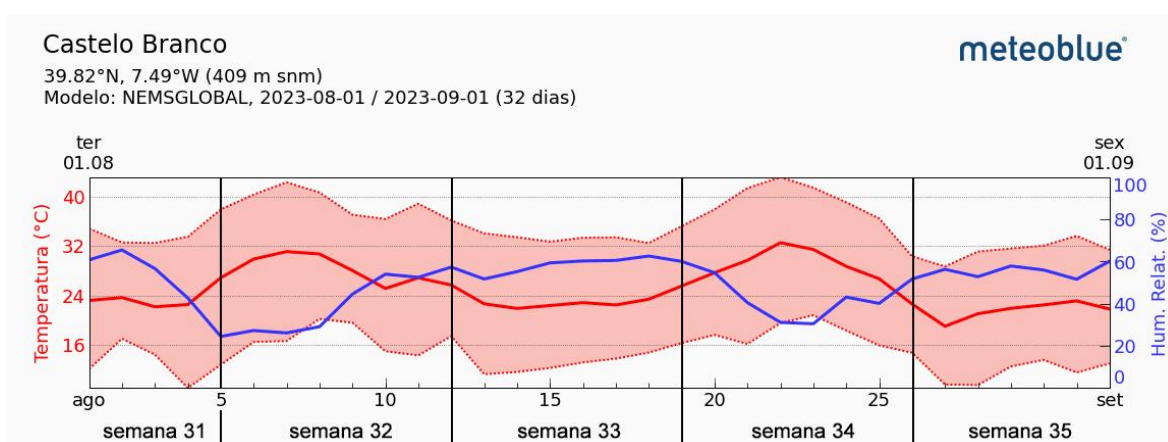


Gráfico 4: Valores médios e máximos de temperatura ambiente em cada semana do estudo (OBD).

Na semana 34 o veículo circulou pela zona centro interior (Beira Interior). Na Figura 22 apresentam-se os valores médios, máximos e mínimos da temperatura ambiente em Castelo Branco durante o mês de agosto. A título de exemplo, confrontando a medição da temperatura registada pelo veículo no Gráfico 4 com a registada na mesma semana 34 na Beira Interior na Figura 22, verifica-se a existência de coerência entre os dois valores, a temperatura máxima medida pelo veículo foi de 47°C e a registada na estação meteorológica foi de $\approx 48^\circ\text{C}$ a 22 de agosto de 2023.



https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/weatherarchive/castelo-branco_portugal_2269514?fcstlength=1m&year=2023&month=8

Figura 22: Valores médios, máximos e mínimos da temperatura ambiente em Castelo Branco (Beira Interior) durante o mês de agosto (meteoblue, 2023).

No Gráfico 5 apresenta-se o registo semanal dos valores médios e máximos de velocidade de rotação do motor, assim como de velocidade média do veículo, nos percursos efetuados. É possível verificar alguma homogeneidade no valor médio de velocidade do veículo ao longo de todas as semanas, o que é indicador de uma semelhança nos percursos efetuados semanalmente. A média de velocidade encontra-se compreendida entre os 50 e os 70 km/h, coerente com uma utilização frequente em autoestrada como se pode verificar no Gráfico 1. A velocidade de rotação do motor apresenta valores médios muito semelhantes ao longo do estudo, rondando as 1700 RPM, e valores máximos (picos) a rondar as 3500 RPM. Refira-se que apesar de ocorrerem uns picos de rotação máxima atingindo valores próximos das 5000 RPM, estes foram ocasionais pois não afetaram significativamente a média. A velocidade de rotação máxima não apresentou qualquer tendência ao longo das semanas. Considerando a inconstância da circulação em estrada (tipologia do percurso, trânsito, condições climatéricas, etc.), esta gama de utilização do motor indica uma correta condução. Note-se que, conforme já referido, na semana 40 o veículo esteve imobilizado por questões de manutenção, sendo esta a origem do afastamento nas semanas 39 e 41 relativamente à média dos restantes períodos.

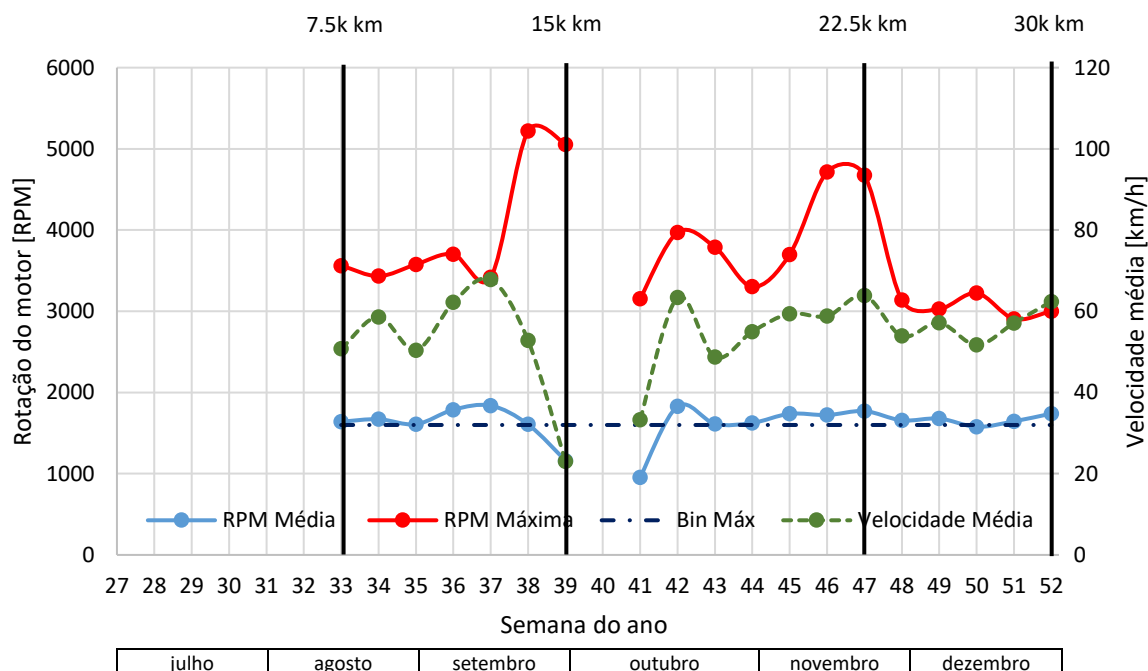


Gráfico 5: Valores médios e máximos de rotação do motor e velocidade média do veículo em cada semana do estudo (OBD).

4. Validação de resultados

Este capítulo é dedicado à validação dos resultados deste estudo, abrangendo uma análise detalhada dos ensaios realizados em duas viaturas distintas, uma com motorização a diesel e outra motorizada a gasolina, que percorreram um extenso percurso de vinte mil e trinta mil quilômetros, respetivamente. O principal objetivo destes ensaios foi verificar a eficácia e consistência da metodologia adotada para avaliar as diferenças no consumo de combustível decorrentes da utilização de um aditivo específico. Para este fim, uma série de parâmetros foi cuidadosamente monitorizada e comparada entre os diferentes testes.

Inicialmente, foram registadas as condições ambientais durante os ensaios, incluindo temperatura, pressão e humidade relativa, obtidas a partir da ficha OBD do veículo em análise e do dinamómetro. Além disso, os parâmetros do motor foram meticulosamente monitorizados através da ficha OBD, abrangendo informações como a temperatura do líquido de refrigeração, pressão na conduta de admissão, pressão na régua de combustível, posição do pedal de acelerador, temperatura do óleo do motor e consumo de combustível em litros por hora.

Os ensaios WLTP realizados em dinamómetro proporcionaram uma avaliação mais aprofundada, considerando a distância percorrida, o consumo de combustível e a velocidade média em comparação com o padrão WLTP classe 3. Estas análises foram desdobradas para cada perfil de velocidade (Baixa, Média, Elevada e Extra Elevada), permitindo uma compreensão detalhada das variações em diferentes cenários de condução. Adicionalmente, foram examinadas possíveis discrepâncias no ciclo padronizado WLTP, destacando qualquer desvio significativo na velocidade em relação aos 2 km/h estabelecidos como margem.

Por fim, a comparação das diferenças nos testes de potência ofereceu detalhes cruciais sobre a possível influência da utilização comparativa dos combustíveis no desempenho do motor, avaliando se houve aumento ou redução da potência e do binário. A abordagem adotada na metodologia visa proporcionar uma visão abrangente e fundamentada das implicações do aditivo no consumo e desempenho do veículo.

4.1. Testes WLTP – Dinamómetro

Os testes WLTP constituíram uma etapa crucial na validação dos resultados obtidos, representando um marco fundamental na garantia da conformidade e validade dos ensaios realizados. Estes testes, reconhecidos internacionalmente como padrão para a avaliação do consumo de combustível e emissões de veículos, desempenharam um papel central na verificação da metodologia adotada neste estudo. Ao comparar os resultados obtidos nos ciclos WLTP realizados em dinamómetro com os padrões estabelecidos para o ciclo WLTC classe 3b, foi possível avaliar de forma abrangente a consistência e precisão dos dados obtidos por diferentes condutores e motores térmicos. Os ensaios a diesel foram conduzidos por um condutor “experiente”, que já realizou um número considerável de ensaios, enquanto os ensaios a gasolina foram realizados por um condutor “iniciante”, que começou esta prática recentemente. A análise das distâncias percorridas, consumo de combustível, velocidade média e conformidade com os perfis de velocidade estabelecidos permitiu corroborar a validade dos ensaios realizados, demonstrando que estes foram conduzidos de acordo com as normas e diretrizes estabelecidas. Assim, os testes WLTC emergem como o elemento central na certificação da eficácia da metodologia empregada, fornecendo uma base sólida para a interpretação e conclusões dos resultados alcançados.

4.1.1. Diesel

Segue-se a apresentação dos resultados obtidos no primeiro (0 km) e último (20k km) ensaio em laboratório, realizado com 0 km e 20k km, respetivamente, referente à Parte 2 do veículo a **diesel**. Para os restantes ensaios, foi realizada a mesma metodologia.

Tabela 16: Diferença da velocidade média atingida em cada perfil de velocidade dos vários ensaios relativamente ao ciclo padrão para o veículo a diesel.

0 km	WTLC classe 3b	WLTC1		WLTC2		WLTC3	
Perfil de velocidade	Velocidade [km/h]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]
Baixa	18,88	18,94	0,3	19,05	0,9	19,05	0,9
Média	39,54	39,74	0,5	39,73	0,5	39,74	0,5
Elevada	56,66	56,77	0,2	56,80	0,2	56,73	0,1
Extra Elevada	92,00	92,20	0,2	92,22	0,2	92,17	0,2
20k km	WTLC classe 3b	WLTC1		WLTC2		WLTC3	
Perfil de velocidade	Velocidade [km/h]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]
Baixa	18,88	18,90	0,1	18,85	-0,2	18,85	-0,2
Média	39,54	39,54	0	39,51	0	39,71	0,4

Elevada	56,66	56,68	0	56,76	0,2	56,70	0,1
Extra Elevada	92,00	92,16	0,2	92,04	0,1	92,26	0,3

Na Tabela 16, observa-se que as discrepâncias de velocidade média em relação ao ciclo padronizado WLTC classe 3b são praticamente inexistentes, mantendo-se consistentemente abaixo de 1% em todos os perfis de velocidade para ambos os ensaios, o que é um ponto positivo para a validação destes. No entanto, existem pequenas flutuações que serão apresentadas no Gráfico 6 e no Gráfico 7, para o ensaio com 0 km e com 20k km, respectivamente. Nestes será apresentada a diferença percentual da velocidade obtida em cada instante comparativamente com a velocidade padronizada.

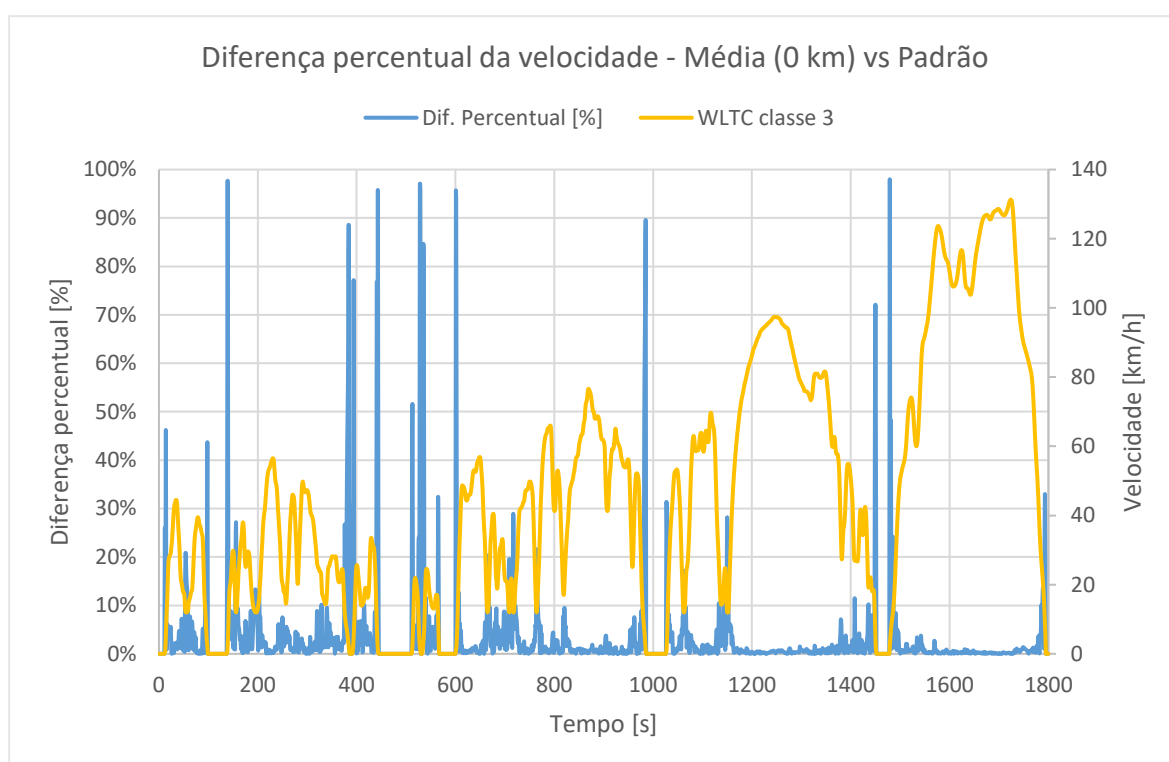


Gráfico 6: Diferença percentual da média das velocidades instantâneas dos ensaios realizados com 0k km comparativamente ao padronizado.

No Gráfico 6, é evidente que os maiores desvios ocorrem nos momentos de arranque e paragem decorrentes ao longo do ciclo, permitindo excluir falhas no seguimento do ciclo padronizado. No decorrer do restante ciclo, a margem de erro é constantemente inferior a 10%, como evidenciado na análise da diferença percentual dos ensaios de três ciclos WLTC realizados em laboratório, apresentados como uma média, em comparação com o ciclo padronizado WLTC classe 3b. A mesma tendência é observada no Gráfico 7, no entanto, há um ligeiro aumento no número de desvios cometidos durante o ciclo.

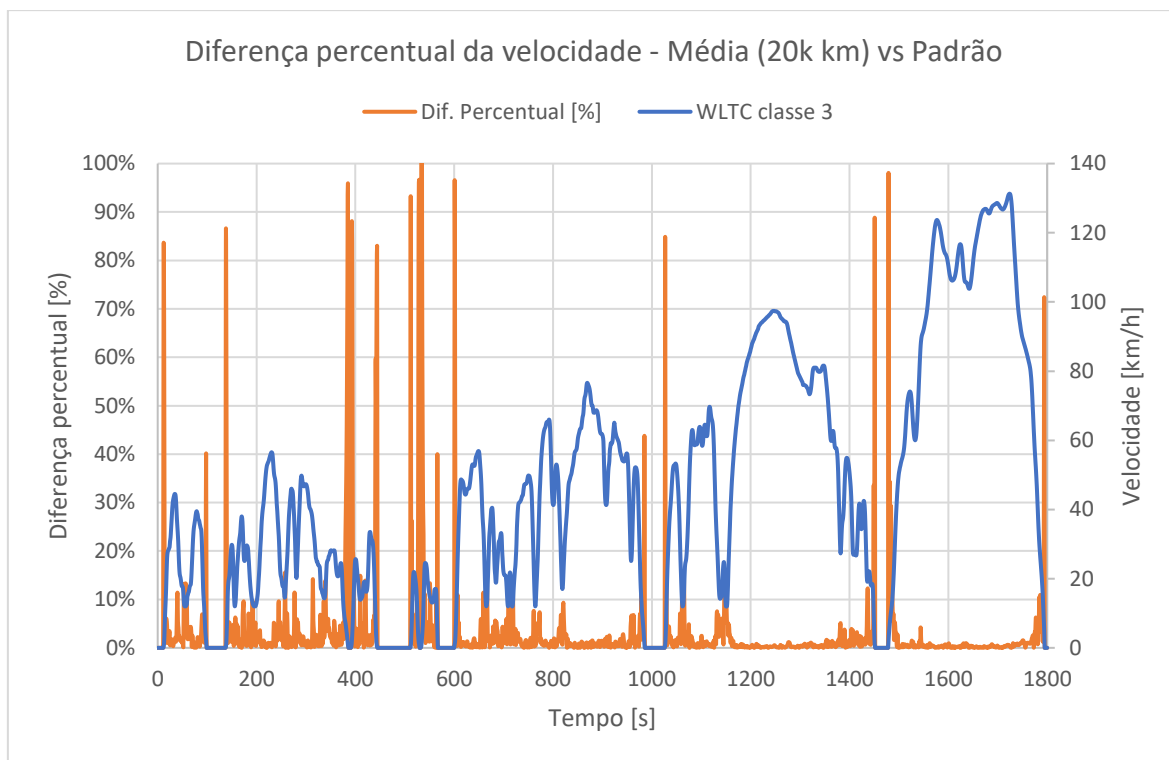


Gráfico 7: Diferença percentual da média das velocidades dos ensaios realizados com 20k km comparativamente ao padronizado.

Como mencionado anteriormente 2.3.1. Ciclo de condução WLTP, conforme ilustrado na Figura 5, é importante observar as margens de tolerância para a velocidade durante os ciclos WLTC. Para que um ciclo seja considerado válido, é crucial que estas margens não sejam excedidas em mais de 10 ocorrências de velocidade fora das tolerâncias estabelecidas: uma variação máxima de 2 km/h em relação à velocidade mais alta na curva, com um intervalo de ± 1 segundo a partir do ponto de referência; e uma variação mínima de 2 km/h em relação à velocidade mais baixa na curva, também com um intervalo de ± 1 segundo do ponto de referência (Mazer, 2020).

No Gráfico 8 e Gráfico 9, serão apresentadas as diferenças absolutas das velocidades instantâneas em comparação com o ensaio padronizado para os ensaios de 0 km e 20k km, respectivamente, para o veículo a diesel.

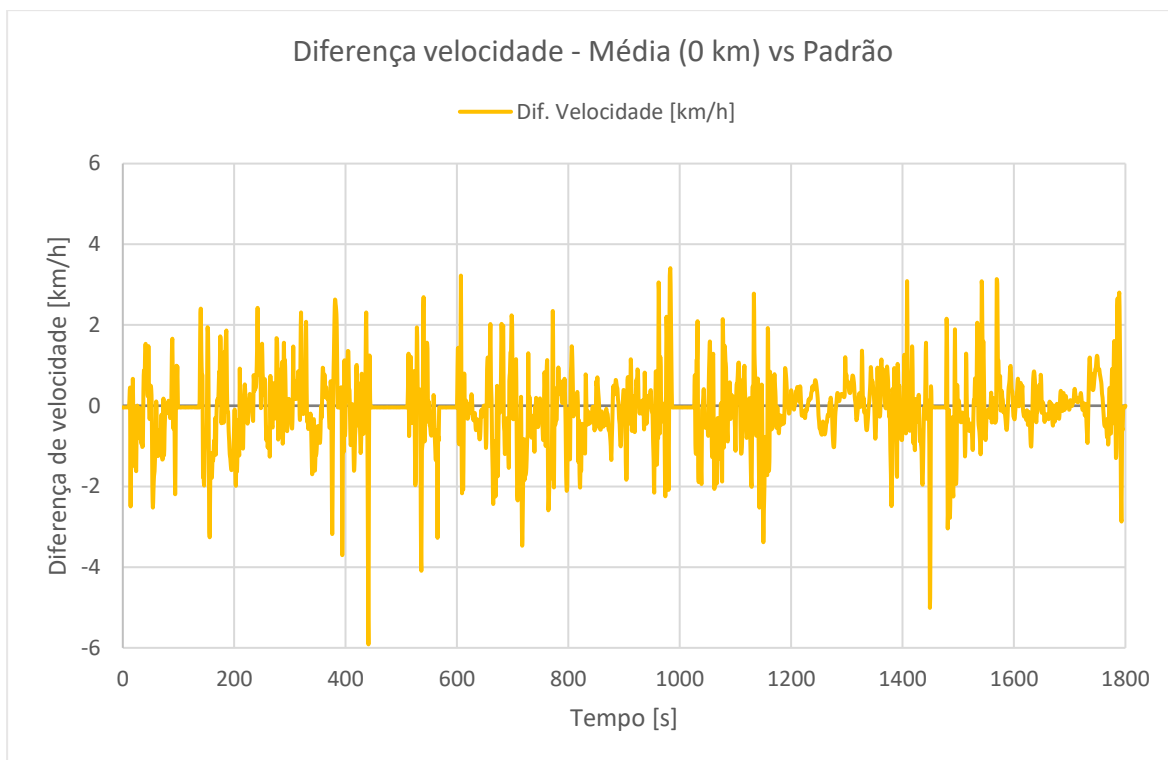


Gráfico 8: Diferença da média da velocidade dos ensaios realizados ao veículo a diesel com 0k km comparativamente ao ciclo padronizado.

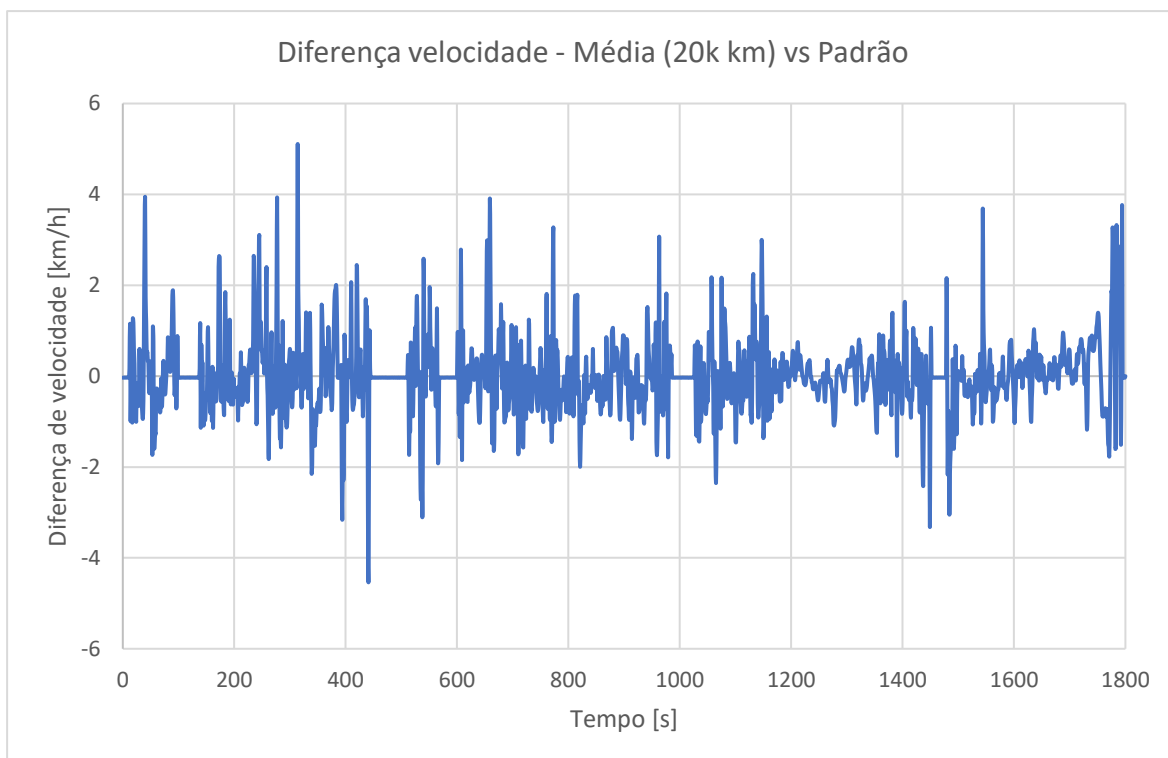


Gráfico 9: Diferença da média da velocidade dos ensaios realizados ao veículo a diesel com 20k km comparativamente ao ciclo padronizado.

Observam-se mais de 10 infrações, no Gráfico 8 e Gráfico 9. É crucial destacar que estes picos ocorrem devido aos momentos de arranque e paragem do veículo, conforme ilustrado

no Gráfico 6 e Gráfico 7. Portanto, não se consideram estes desvios como críticos para a avaliação do consumo de combustível, até porque os consumos entre ensaios foram idênticos.

4.1.2. Gasolina

Para a viatura a **gasolina**, também serão apresentados dois resultados. Considerando a realização de múltiplos ensaios, optou-se por destacar dois extremos de resultados, representando uma abordagem ideal e uma menos favorável em termos de cumprimento do ciclo padronizado. Assim, serão discutidos um ensaio intermediário e o último ensaio em laboratório, realizados com 15k km e 30k km, respetivamente. Para os restantes ensaios, foi seguida a mesma metodologia.

Tabela 17: Diferença da velocidade média atingida em cada perfil de velocidade dos vários ensaios relativamente ao ciclo padrão para o veículo a gasolina.

15k km	WLTC classe 3b	WLTC1		WLTC2		WLTC3	
Perfil de velocidade	Velocidade [km/h]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]
Baixa	18,88	18,83	-0,3	18,88	0	18,92	0,2
Média	39,54	39,40	-0,4	39,25	-0,8	39,48	-0,1
Elevada	56,66	56,44	-0,4	56,43	-0,4	56,39	-0,5
Extra Elevada	92,00	91,34	-0,7	91,26	-0,8	91,26	-0,8
30k km	WLTC classe 3b	WLTC1		WLTC2		WLTC3	
Perfil de velocidade	Velocidade [km/h]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]	Velocidade [km/h]	Dif. [%]
Baixa	18,88	18,66	-1,2	18,71	-0,9	18,71	-0,9
Média	39,54	39,13	-1,0	39,07	-1,2	39,10	-1,1
Elevada	56,66	55,88	-1,4	56,00	-1,2	55,91	-1,3
Extra Elevada	92,00	90,21	-1,9	90,20	-1,9	90,18	-2,0

Na Tabela 17, nota-se que as discrepâncias de velocidade em relação ao ciclo padronizado WLTC classe 3b são praticamente inexistentes, mantendo-se consistentemente abaixo de 1% em todos os perfis de velocidade para o ensaio com 15k km, como foi visível no Gráfico 10 e no seguinte Gráfico 12. Isto representa um ponto positivo para a validação destes ensaios, tal como aconteceu anteriormente. No entanto, para o ensaio com 30k km, observa-se predominantemente diferenças na ordem de 1% a 2%. Estas variações não se limitam apenas aos momentos de arranque e paragem do veículo ao longo do ciclo, mas também ocorrem durante todo o ciclo, como é mostrado no Gráfico 11 e Gráfico 13, evidenciando que a concentração, rigor e experiência do condutor são essenciais para o cumprimento do ciclo. Apesar disso, nota-se que entre testes, para o mesmo perfil de velocidades, as diferenças

obtidas são praticamente nulas, o que traduzir-se-á numa possível pequena variação de consumo de combustível.

A seguir, no Gráfico 10 e Gráfico 11, será apresentada a diferença percentual da velocidade em comparação com o ensaio padronizado para os ensaios de 15k km e 30k km, respetivamente, para o veículo a gasolina.

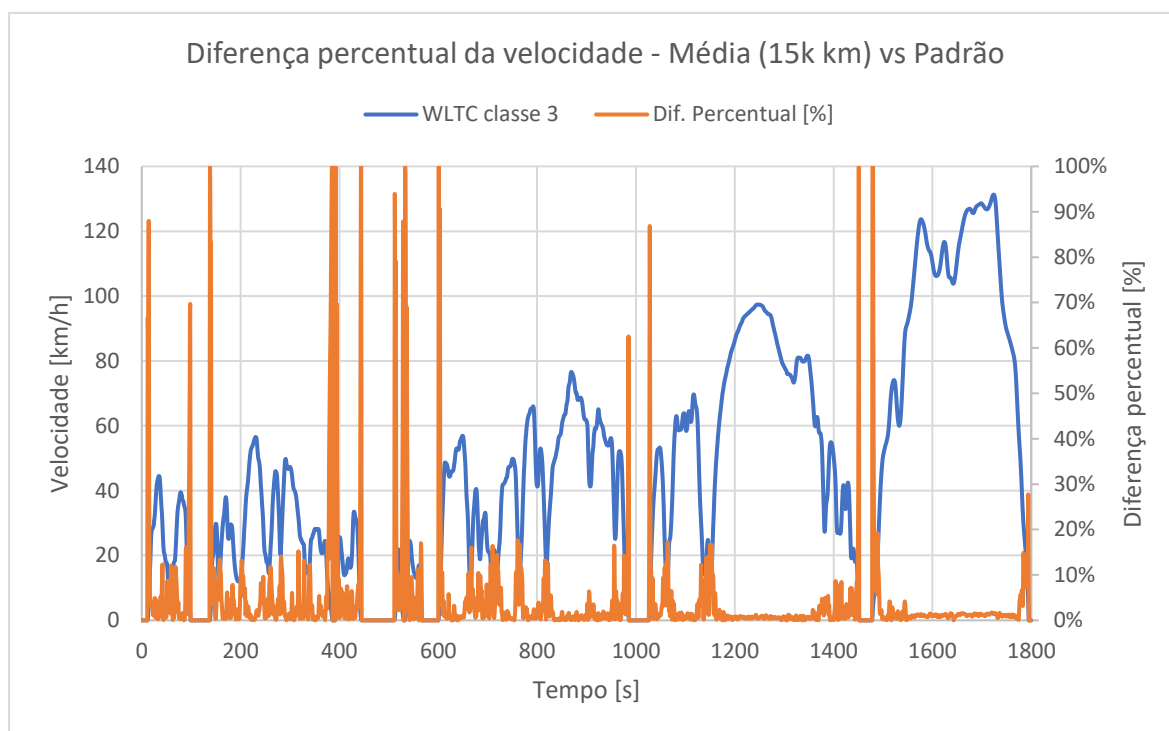


Gráfico 10: Diferença percentual da média das velocidades dos ensaios realizados com 15k km comparativamente ao padronizado.

Assim como nos gráficos anteriores que mostram a diferença percentual da velocidade, o Gráfico 10 também revela que os maiores desvios de velocidade ocorrem nos momentos de arranque e paragem ao longo do ciclo. Durante o restante do percurso, a margem de erro permanece predominantemente abaixo de 10%. No entanto, o cenário difere no Gráfico 11 (30k km), onde são observados desvios contínuos na velocidade ao longo de todo o ciclo.

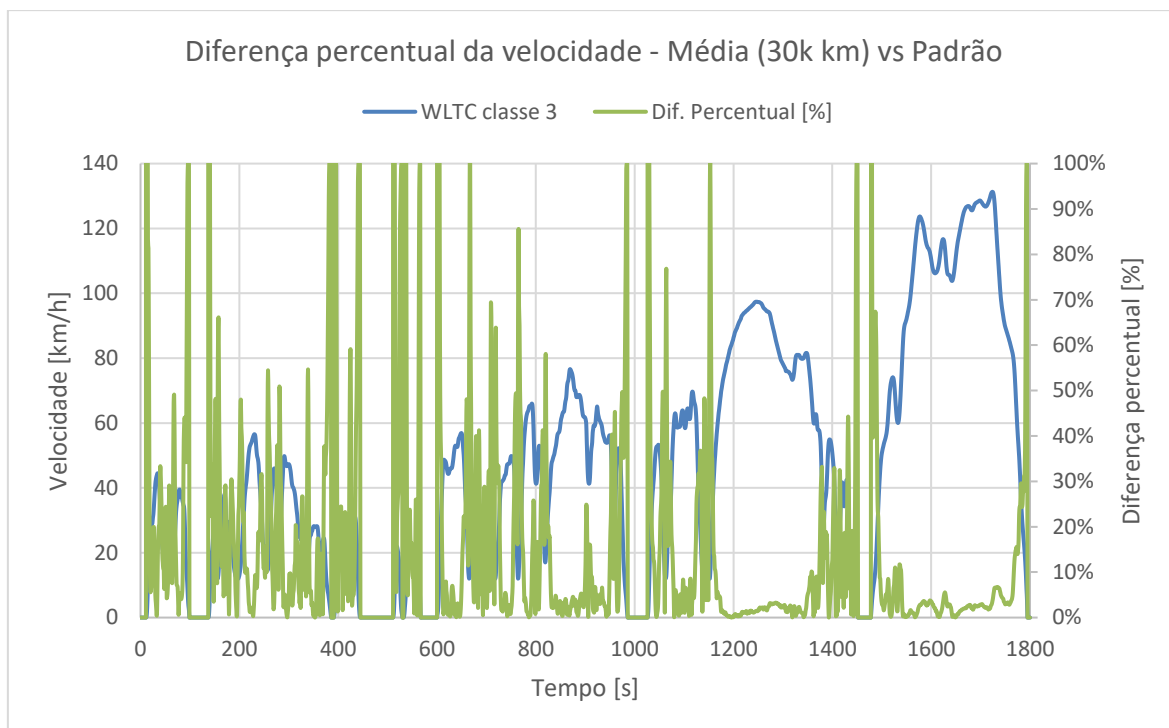


Gráfico 11: Diferença percentual da média das velocidades dos ensaios realizados com 30k km comparativamente ao padronizado.

No Gráfico 12 e Gráfico 13, serão apresentadas as diferenças absolutas de velocidade em comparação com o ensaio padronizado para os ensaios de 15k km e 30k km, respectivamente, para o veículo a gasolina.

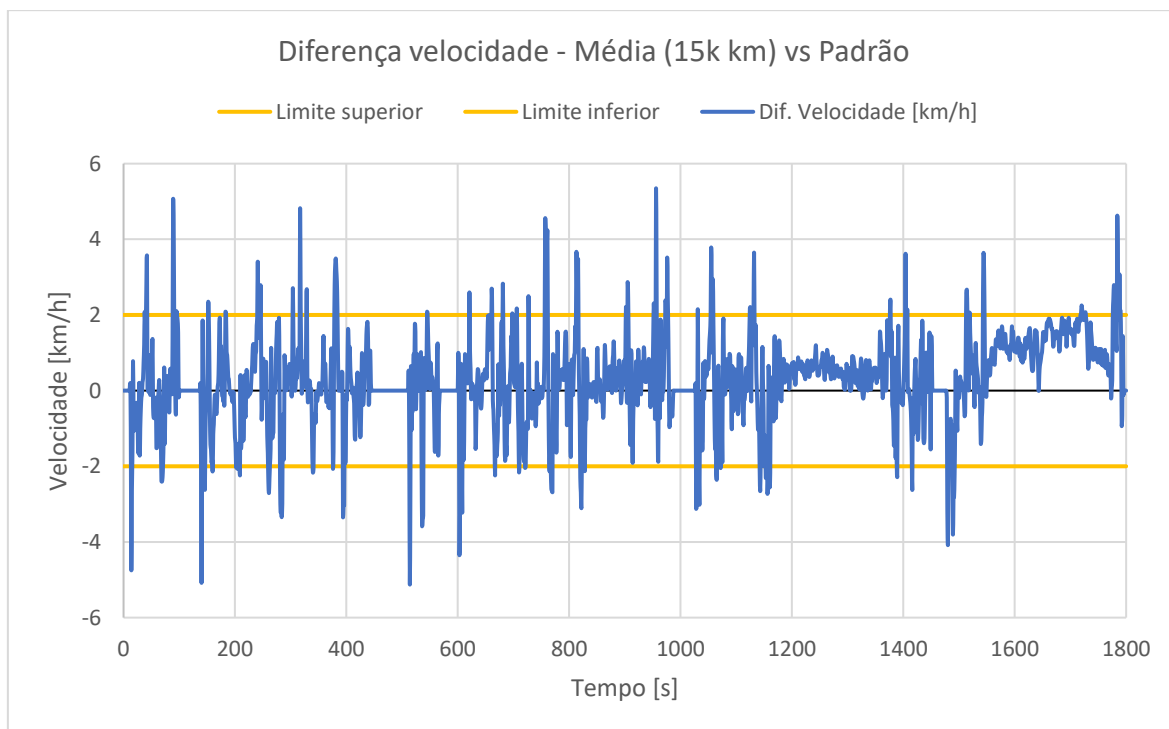


Gráfico 12: Diferença da média da velocidade dos ensaios realizados ao veículo a gasolina com 15k km comparativamente ao ciclo padronizado.

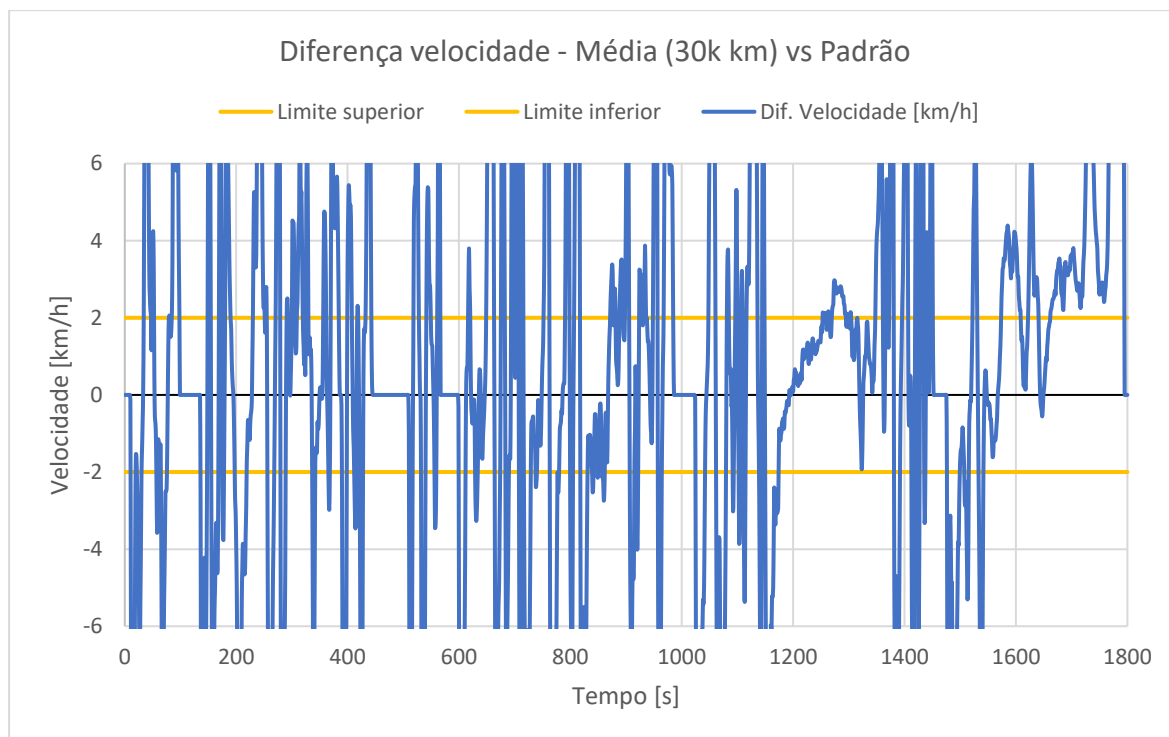


Gráfico 13: Diferença da média da velocidade dos ensaios realizados ao veículo a gasolina com 30k km comparativamente ao ciclo padronizado.

O Gráfico 12, assim como os Gráfico 8 e Gráfico 9, revela mais de 10 infrações, mas do mesmo modo, estas ocorrências não são consideradas críticas. Por outro lado, o Gráfico 13, considerando a mesma escala, claramente infringe as tolerâncias de velocidade do ciclo WLTC classe 3b. Esta discrepância é particularmente evidente na fase final do ciclo, mantendo uma diferença de velocidade consistentemente superior a 2 km/h. Uma possível explicação para esta disparidade poderá dever-se à substituição dos pneus antes dos testes dos 30k km. Apesar disto, houve cumprimento do ciclo, retirando a fase final. Todos os ensaios foram realizados cumprindo o mesmo padrão.

Embora não estejam em conformidade com a legislação, especialmente no caso do último ensaio com 30k km, para o veículo a gasolina, esta variação de velocidade não resultou numa grande diferença no consumo de combustível, conforme será demonstrado na secção 3.2.6 Medição de consumo de combustível.

4.2. Fatores externos/Controlo de variáveis

Conforme já referido, durante a realização dos ensaios em dinamómetro foram efetuadas recolha de dados relativos aos parâmetros de funcionamento do motor, obtidos através da porta OBD II existente no veículo. Além disso, foram recolhidos dados do dinamómetro,

como a temperatura ambiente no laboratório, pressão atmosférica e humidade relativa do ar. Antes da realização dos ensaios, foi garantido que a bateria estava com a tensão máxima, através de um estabilizador de tensão de baterias, e que a pressão dos pneus estava em conformidade com os dados do fabricante. A balança usada para medir o consumo de combustível está isolada para reduzir a evaporação do combustível. Além disso, o registo do consumo só é iniciado quando o veículo está em funcionamento, evitando oscilações iniciais na medição. Estes procedimentos são seguidos em todos os ensaios para garantir consistência nos resultados. A aquisição de dados tem como objetivo verificar se as condições de funcionamento do veículo se encontram conforme os requisitos de cada tipo de ensaio realizado (ciclo WLTC, ensaios de potência contínuos e discretos) e/ou averiguar a fonte de possíveis discrepâncias nos resultados obtidos, caso estes se encontrem fora do esperado.

4.2.1. Diesel

Durante os dias dos ensaios, como já foi referido, foram recolhidos dados de pressão, temperatura e humidade atmosférica através da instrumentação do dinamómetro, como também pela OBD II presente nos veículos, conforme apresentado na Tabela 18, que mostra a média dos registos obtidos pelo veículo **diesel** e pelo dinamómetro. O veículo adquiriu os dados de temperatura do ar admitido (TAA), pressão atmosférica (PA) e temperatura ambiente (TA). O dinamómetro mede a pressão atmosférica, temperatura ambiente e a humidade do ar relativa (HA). Com o objetivo de explicar futuras discrepâncias no consumo de combustível, uma vez que, de acordo com a revisão bibliográfica, estes fatores têm influência na variação do consumo de combustível, serão apresentados os parâmetros obtidos tanto pelo dinamómetro como pelo veículo. Como os veículos em estudo não medem dados de humidade, não serão apresentadas comparações desses valores.

Tabela 18: Comparação entre OBD II e dinamómetro dos dados de temperatura ambiente e pressão atmosférica para o veículo a diesel.

	Dados OBD II								
	T1: 0 km (julho)			T2: 10k km (novembro)			T3: 20k km (fevereiro)		
	TAA [°C]	PA [kPa]	TA [°C]	TAA [°C]	PA [kPa]	TA [°C]	TAA [°C]	PA [kPa]	TA [°C]
WLTC1	40,37	101	21,11	36,22	100	14,0	36,9	101	15,0
WLTC2	40,62	101	22,06	36,93	100	14,08	38,33	101	17,48
WLTC3	41,21	101	23,00	37,87	100	14,17	40,11	101	19,00
	Dados Dinamómetro								
	HA [%]	PA [kPa]	TA [°C]	HA [%]	PA [kPa]	TA [°C]	HA [%]	PA [kPa]	TA [°C]
	WLTC1	69,00	101,03	24,20	75,60	100,41	17,62	46,30	101,59

Estudo sobre a metodologia aplicada em testes de veículos utilizando combustíveis de baixo carbono

WLTC2	69,10	101,03	24,93	75,30	100,43	17,15	45,70	101,59	19,12
WLTC3	69,80	101,04	27,09	75,20	100,46	17,18	45,70	101,57	20,50

TAA – Temperatura do ar admitido; PA – Pressão atmosférica; TA – Temperatura ambiente; HA – Humidade do ar relativa.

Conforme observado na Tabela 18, existem flutuações na temperatura ambiente. Tal deve-se ao fato de o laboratório onde os ensaios são conduzidos não ser climatizado. Além disso, os ensaios foram realizados em meses diferentes, o que significa que foram influenciados pelas condições meteorológicas da época do ano. Estas oscilações afetam a temperatura do ar admitido, o que, por sua vez, introduz variações no consumo de combustível. A diferença existente nos registos da temperatura ambiente entre o veículo e o dinamómetro pode ser atribuída à posição e precisão dos sensores. No entanto, a variação da temperatura entre os testes realizados no mesmo dia é praticamente consistente em ambos os equipamentos. Quanto à pressão atmosférica, tanto no veículo, que possui um sensor com baixa precisão, como no dinamómetro, os valores obtidos são muito semelhantes. Dada a proximidade dos valores de pressão atmosférica em todos os ensaios, com uma diferença desprezável, torna este parâmetro pouco relevante para análise. Ainda assim, este parâmetro tem pouca influência, uma vez que ambos os veículos são sobrealimentados. É interessante observar que, do ensaio com 10k km para o de 20k km, embora as temperaturas do primeiro ciclo sejam próximas, com uma diferença de 1°C para o sensor medido pelo veículo e 0,37°C medido pelo dinamómetro, as temperaturas finais já apresentam uma diferença mais significativa. Aos 10k km, a temperatura mantém-se aproximadamente a mesma em todos os ciclos, enquanto com 0 km e 20k km, há um aumento da temperatura em cada ciclo. Isso ocorreu porque os ensaios com 0 km e 20k km foram iniciados de manhã, cerca das 9h30, quando há um aumento da temperatura ambiente, enquanto o ensaio com 10k km foi realizado à tarde, por volta das 14h10, quando a temperatura tende a estabilizar.

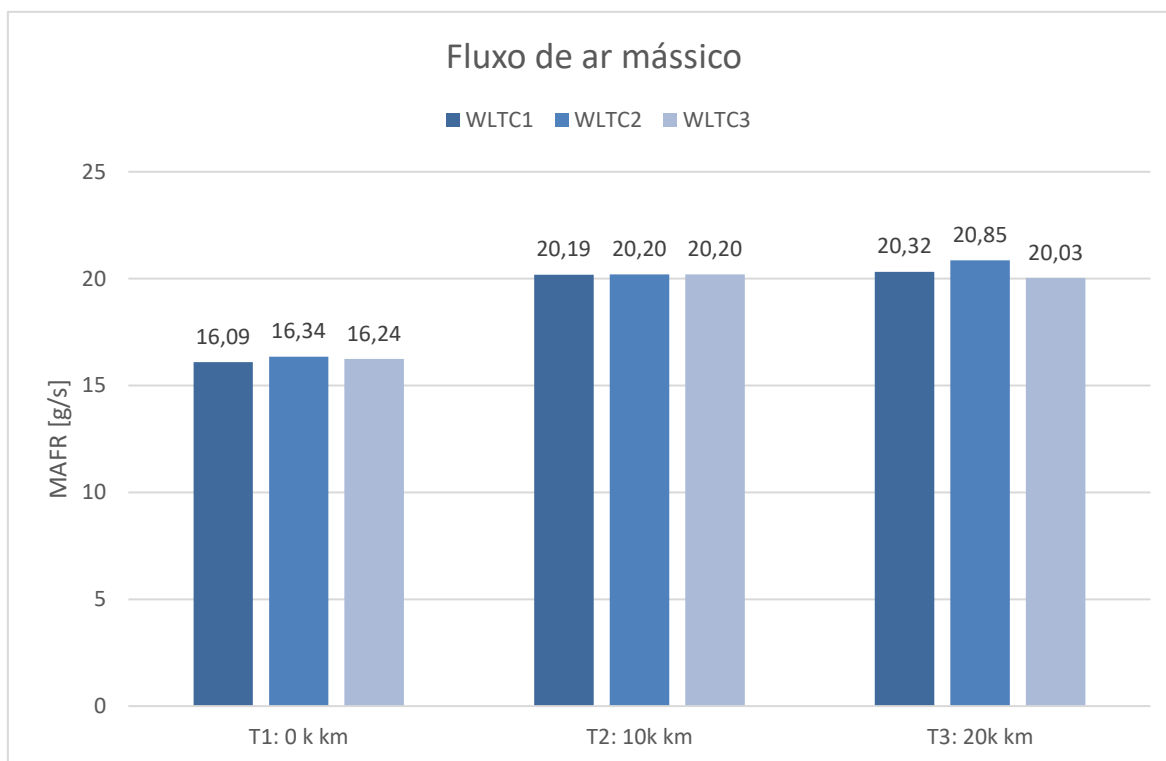
Durante os ensaios, além dos dados anteriormente recolhidos e muitos outros, destacam-se os seguintes: temperatura do líquido de arrefecimento do motor (ECT), pressão absoluta do coletor de admissão (IMAP), pressão absoluta na régua de combustível (FRPA), temperatura do óleo do motor (EOT), fluxo de combustível para o motor (EFR) e fluxo de ar mássico (MAFR). Os mesmos foram obtidos via porta OBD II utilizando um *data logger* e encontram-se apresentados na Tabela 19, correspondendo cada um à média de todo o ciclo.

Tabela 19: Parâmetros de análise do veículo a diesel registrados via porta OBD II.

	T1: 0 km					
	ECT [°C]	IMAP [kPa]	FRPA [kPa]	EOT [°C]	EFR [l/h]	MAFR [g/s]
WLTC1	76,54	122,68	66324,77	78,80	2,45	16,09
WLTC2	76,97	122,76	67378,70	79,18	2,43	16,34
WLTC3	77,12	122,41	66876,75	79,18	2,45	16,24
	T2: 10k km					
	ECT [°C]	IMAP [kPa]	FRPA [kPa]	EOT [°C]	EFR [l/h]	MAFR [g/s]
WLTC1	76,58	124,67	66501,74	79,20	2,68	20,19
WLTC2	76,68	125,22	66767,75	79,37	2,69	20,20
WLTC3	76,75	125,52	67025,94	79,46	2,69	20,20
	T3: 20k km					
	ECT [°C]	IMAP [kPa]	FRPA [kPa]	EOT [°C]	EFR [l/h]	MAFR [g/s]
WLTC1	76,86	124,77	68929,44	79,62	2,74	20,32
WLTC2	76,35	122,51	69153,67	79,08	2,91	20,85
WLTC3	77,61	124,47	69179,33	80,31	2,66	20,03

ECT – Temperatura do líquido de refrigeração; IMAP – Pressão absoluta do coletor de admissão; FRPA – Pressão absoluta na régua de combustível; EOT – Temperatura do óleo do motor; EFR – Fluxo de combustível para o motor; MAFR – Fluxo de ar mássico.

Analisando a Tabela 19, torna-se evidente que as discrepâncias mais significativas entre os ensaios estão relacionadas com a MAFR e EFR. Assim sendo, serão apresentados dois gráficos em detalhe dos parâmetros anteriormente referidos.

**Gráfico 14: Comparação dos fluxos de ar mássicos admitidos para o veículo a diesel.**

No Gráfico 14 encontra-se apresentado o valor médio de MAFR por cada ensaio para os três WLTC realizados. Os valores de MAFR no primeiro ensaio mostram uma redução de cerca de 20% em comparação com os restantes ensaios. Esta diferença atribui-se ao combustível utilizado no primeiro ensaio ser diferente dos restantes, como demonstrado no consumo do veículo presente no Gráfico 15.

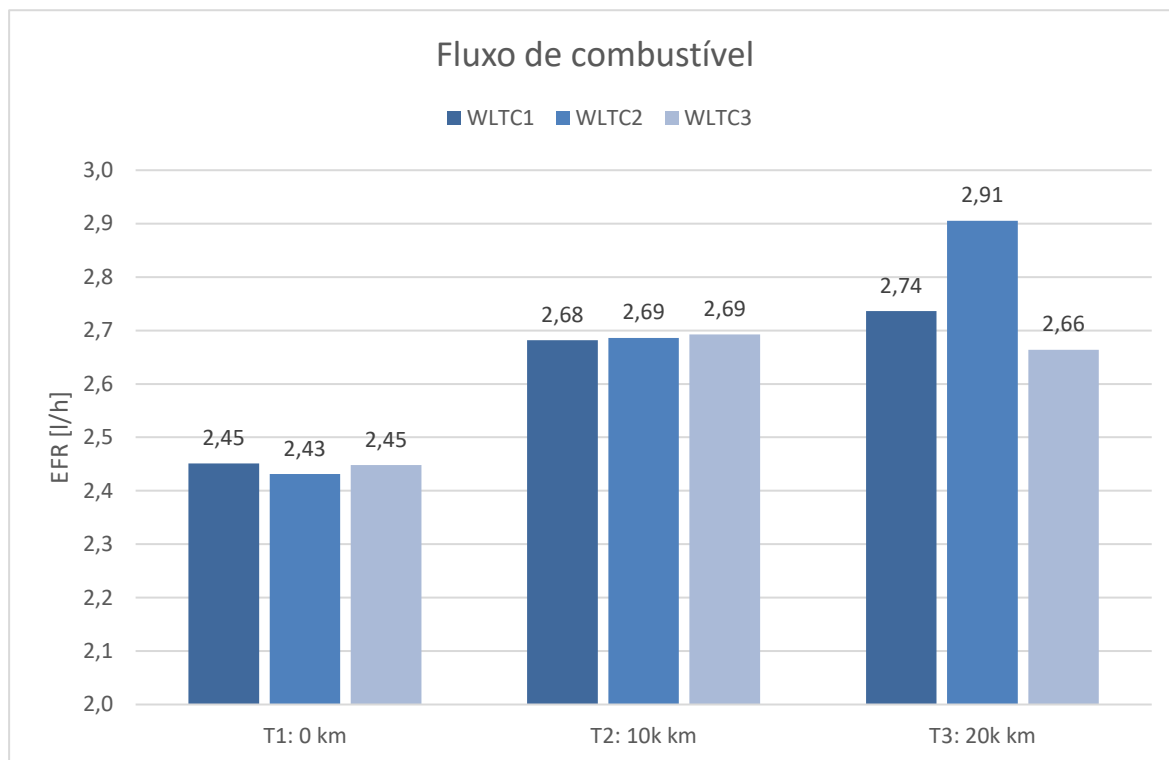


Gráfico 15: Comparação dos fluxos de combustível para o veículo a diesel.

Os valores de EFR apresentam uma diferença de aproximadamente 9% entre o primeiro ensaio e os restantes, com exceção do segundo ciclo do ensaio com 20k km. Este aumento de consumo será explicado no próximo subcapítulo (4.3 Medição de consumo de combustível – ciclo WLTP) com mais detalhe, assim como outras diferenças observadas.

Os restantes valores não apresentaram variações significativas, não sendo influentes para análise, dado que são parâmetros praticamente inalterados.

4.2.2. Gasolina

Usando a mesma metodologia anterior para o veículo a **gasolina**, também durante os dias dos ensaios foram recolhidos dados de pressão, temperatura e humidade através do dinamómetro, conforme apresentado na Tabela 20, que mostra a média dos registos medidos pelo veículo e dinamómetro. O veículo apenas mede a temperatura do ar admitido (TAA) e

a temperatura ambiente (TA). A instrumentação do dinamômetro mede a pressão atmosférica (PA), temperatura ambiente (TA) e a humidade do ar relativa (HA). Como o veículo em estudo não mede dados de humidade e de pressão atmosférica, não serão apresentadas comparações desses valores.

Tabela 20: Comparação entre OBD II e dinamômetro dos dados de temperatura ambiente e pressão atmosférica para o veículo a gasolina.

	Dados OBD II								
	T1: 0 km (junho)			T2: 15k km (setembro)			T3: 30k km (janeiro)		
	TAA [°C]	PA [kPa]	TA [°C]	TAA [°C]	PA [kPa]	TA [°C]	TAA [°C]	PA [kPa]	TA [°C]
WLTC1	49,81	-	26,00	44,17	-	22,3	44,6	-	19,0
WLTC2	47,73	-	25,52	46,05	-	23,27	44,07	-	20,07
WLTC3	49,36	-	25,70	45,87	-	24,58	43,77	-	21,02
	Dados Dinamômetro								
	HA [%]	PA [kPa]	TA [°C]	HA [%]	PA [kPa]	TA [°C]	HA [%]	PA [kPa]	TA [°C]
	WLTC1	68,37	100,85	24,88	80,55	101,40	20,96	76,34	102,26
WLTC2	69,65	100,85	24,16	80,27	101,45	22,30	75,03	102,24	20,21
WLTC3	69,79	100,84	24,24	76,56	101,43	23,97	72,52	102,23	20,89

TAA – Temperatura do ar admitido; PA – Pressão atmosférica; TA – Temperatura ambiente; HA – Humidade do ar relativa.

Conforme observado na Tabela 20, existem flutuações na temperatura ambiente, como explicado já anteriormente as causas, mas para este caso, as diferenças são inferiores às obtidas para os ensaios do veículo a diesel. A variação da temperatura entre os testes realizados no mesmo dia é praticamente consistente em ambos os equipamentos. Os ensaios com 15k km e 30k km revelam alguma variação na temperatura do primeiro ao último ciclo, o que não é tão evidente nos ensaios com 0 km. Assim como nos ensaios realizados para o veículo a diesel, observou-se uma maior diferença nos ensaios realizados na parte da manhã, aos 15k e 30k km. Por outro lado, os ensaios com 0 km, realizados à tarde, quando a temperatura permanece mais estável, não apresentaram oscilações significativas na temperatura. Pode concluir-se que, sem a disponibilidade de usar um laboratório climatizado, o horário em que os ensaios são realizados exerce influência na temperatura ambiente, com consequências nos valores de consumo de combustível.

De modo semelhante aos ensaios realizados com o veículo a diesel, foram analisados os seguintes dados para a viatura a gasolina: temperatura do líquido de arrefecimento do motor (ECT), pressão absoluta do coletor de admissão (IMAP), pressão absoluta na régua de combustível (FRPA), temperatura do óleo do motor (EOT) e fluxo de combustível para o motor (EFR). Os mesmos foram obtidos via porta OBD II utilizando um *data logger* e

encontram-se apresentados na Tabela 21, correspondendo cada um à média de todo o ciclo. Os dados de MAFR não foram apresentados devido à falta de aquisição dessas informações por parte deste veículo.

Tabela 21: Parâmetros de análise do veículo a gasolina registados via porta OBD.

T1: 0 km						
	ECT [°C]	IMAP [kPa]	FRPA [kPa]	EOT [°C]	EFR [l/h]	MAFR [g/s]
WLTC1	91,41	58,16	20547,50	95,52	0,72	-
WLTC2	91,67	58,65	20615,66	95,16	0,73	-
WLTC3	90,53	58,15	20628,89	94,54	0,73	-
T2: 15k km						
WLTC1	90,08	56,56	20571,59	93,60	0,72	-
WLTC2	89,02	57,17	20560,88	92,61	0,73	-
WLTC3	89,93	56,90	20601,41	93,18	0,72	-
T3: 30 k km						
WLTC1	89,53	59,11	20617,18	93,29	0,75	-
WLTC2	90,78	56,17	19796,22	94,65	0,69	-
WLTC3	89,57	58,59	20572,70	93,25	0,74	-

ECT – Temperatura do líquido de refrigeração; IMAP – Pressão absoluta do coletor de admissão; FRPA – Pressão absoluta na régua de combustível; EOT – Temperatura do óleo do motor; EFR – Fluxo de combustível para o motor; MAFR – Fluxo de ar mássico.

Nos dois primeiros ensaios, com 0 km e 15k km, presentes na Tabela 21, o fluxo de combustível é praticamente constante em todos os ciclos. No ensaio com 30k km, houve uma maior discrepância no segundo ciclo face aos restantes, devido a uma perda da pressão absoluta do coletor de admissão e da régua de combustível, o mesmo é demonstrado no Gráfico 16. Os restantes valores na Tabela 21 não apresentam anomalias que justifiquem uma investigação mais aprofundada.

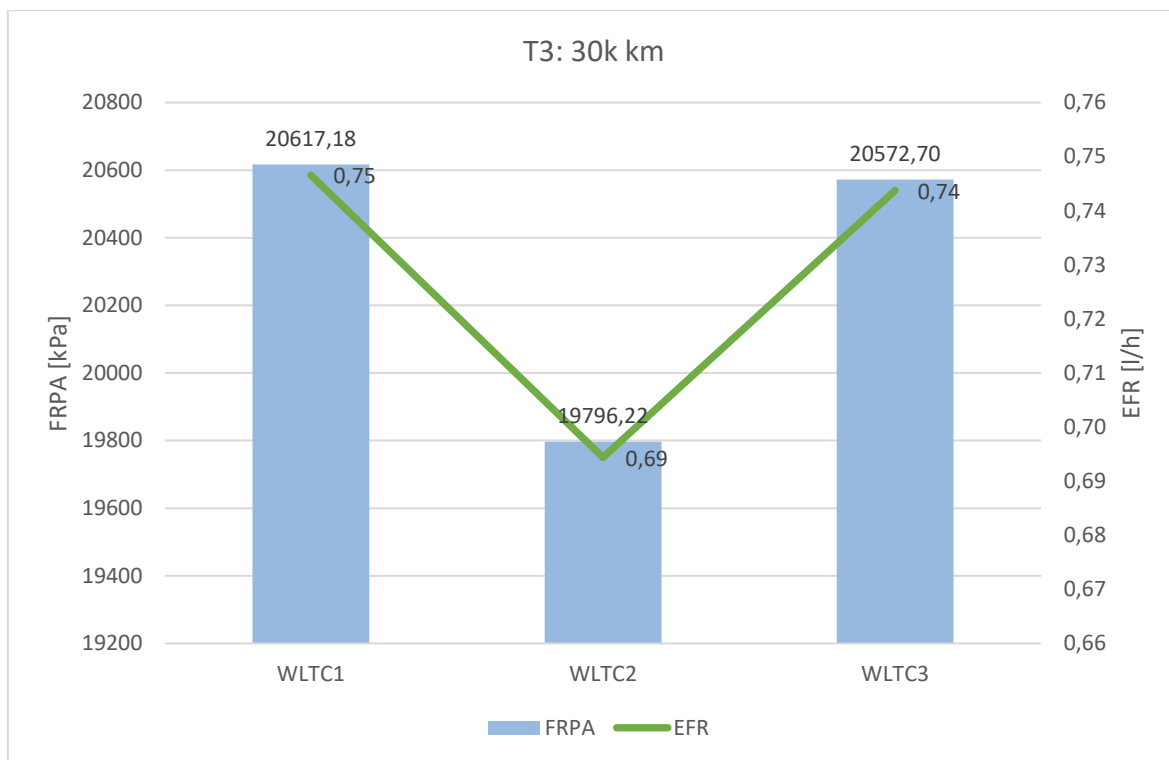


Gráfico 16: Comparação entre FRPA e EFR no ensaio T3 aos 30k km.

4.3. Medição de consumo de combustível – ciclo WLTP

Como referido anteriormente, os testes WLTP desempenharam um papel fundamental na validação dos resultados obtidos neste estudo, fornecendo uma base sólida para a interpretação e conclusões alcançadas. Agora, dando continuidade à análise e focando na medição do consumo de combustível, nesta seção serão examinados detalhadamente os dados obtidos durante os ciclos WLTP, nos quais também foram registadas as informações de consumo de combustível. Estes dados validados pelos testes WLTP serão essenciais para fundamentar as conclusões nesta área específica.

4.3.1. Diesel

Na Tabela 22, são apresentadas as distâncias percorridas, medidas pela instrumentação do dinamómetro, e a média de consumo de combustível, medido pela balança de combustível, obtidos em cada ciclo para os ensaios realizados do veículo a **diesel** (0 km, 15k km e 30k km). A partir destes dados, calculou-se a diferença percentual dentro de cada ciclo entre os ensaios, com o objetivo de analisar se houve aumento ou diminuição no consumo de combustível entre os testes. Caso seja mantida repetibilidade durante todos os ensaios, esta análise permite avaliar se as variações observadas advêm do combustível em estudo.

Tabela 22: Comparação do consumo de combustível no veículo diesel entre ensaios dentro de cada ciclo.

	WLTC1		WLTC2		WLTC3	
	Distância percorrida [km]	Média [l/100km]	Distância percorrida [km]	Média [l/100km]	Distância percorrida [km]	Média [l/100km]
T1: 0 km	23.311	5,613	23.333	5,627	23.320	5,571
T2: 10k km	23.249	6,109	23.252	6,111	23.290	6,120
T3: 20k km	23.265	6,012	23.254	6,534	23.287	5,953
Diferença percentual [%]						
T1 → T2	-0,27	8,11	-0,35	7,93	-0,13	8,97
T1 → T3	-0,20	6,63	-0,34	13,89	-0,14	6,41
T2 → T3	0,07	-1,62	0,01	6,48	-0,01	-2,81

Analisando a Tabela 22, nota-se um aumento no consumo de combustível do primeiro ensaio (T1) em comparação com os subsequentes (T2 e T3), variando de 6% a 8%. Este é particularmente significativo no segundo ciclo, com um incremento aproximado de 14% do primeiro para o último ensaio. Dado esta grande diferença, será analisado o consumo instantâneo do veículo assim como a temperatura dos gases de escape no filtro de partículas. Os dados obtidos encontram-se presentes no Gráfico 17 e Gráfico 18.

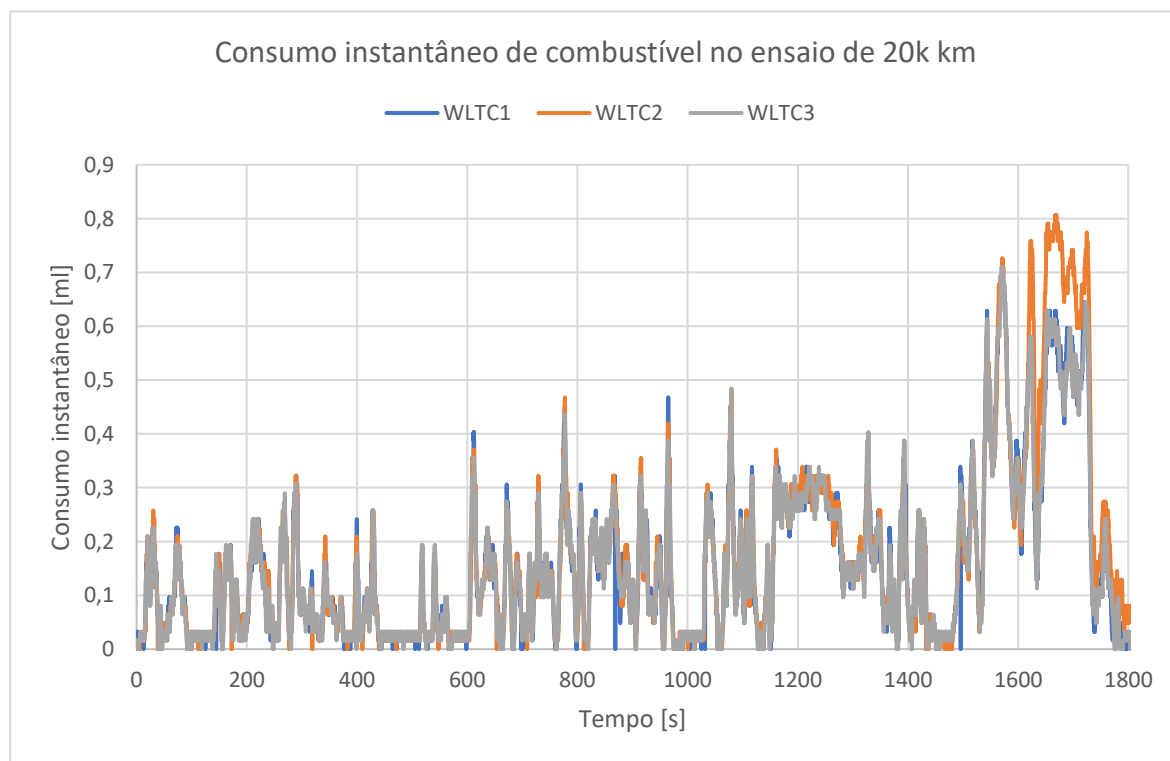


Gráfico 17: Comparação do consumo instantâneo de combustível entre os 3 ciclos WLTC realizados no ensaio com 20k km para a viatura a diesel.

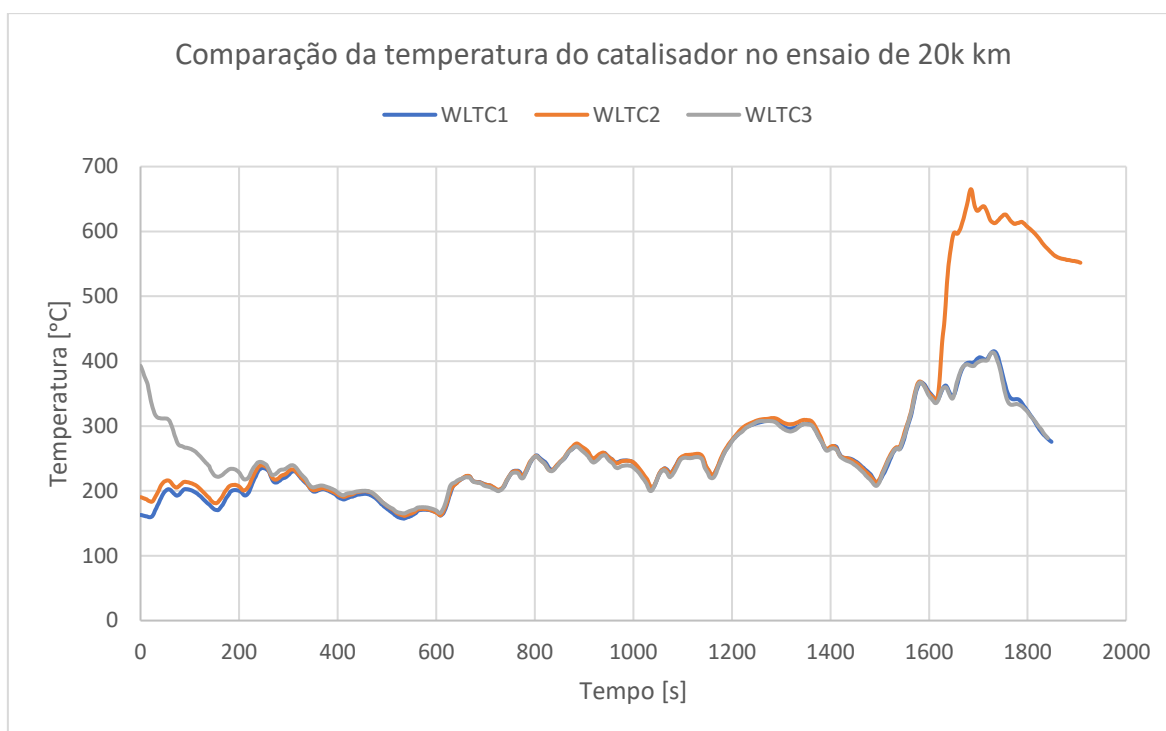


Gráfico 18: Comparação das temperaturas à saída do catalisador durante os 3 ciclos WLTC realizados no ensaio com 20k km para a viatura a diesel.

O aumento no consumo de combustível é atribuído à ocorrência de uma regeneração do filtro de partículas durante o segundo ciclo, como indicado pelo aumento no consumo instantâneo de combustível na fase final do ciclo, aproximadamente após os 1600 segundos, conforme mostrado no Gráfico 17, e pelo aumento da temperatura durante o mesmo ciclo e período em comparação com os restantes ciclos, como evidenciado no Gráfico 18. Posto isto, decidiu-se criar uma tabela onde não serão apresentados estes dados, uma vez que não são válidos para efeitos de comparação. Ao excluir estes dados relacionados à regeneração do filtro de partículas e acrescentar uma média global, obtém-se a seguinte Tabela 23.

Tabela 23: Comparação do consumo de combustível no veículo diesel entre ensaios dentro de cada ciclo à exceção dos valores afetados pela regeneração do filtro de partículas.

	WLTC1		WLTC2		WLTC3		Global
	Distância percorrida [km]	Média [l/100km]	Distância percorrida [km]	Média [l/100km]	Distância percorrida [km]	Média [l/100km]	Média [l/100km]
T1: 0 km	23.311	5,613	23.333	5,627	23.320	5,571	5,604
T2:10k km	23.249	6,109	23.252	6,111	23.290	6,120	6,114
T3:20k km	23.265	6,012	-	-	23.287	5,953	5,982
	Diferença percentual [%]						
T1 → T2	-0,27	8,11	-0,35	7,93	-0,13	8,97	8,34
T1 → T3	-0,20	6,63	-	-	-0,14	6,41	6,33
T2 → T3	0,07	-1,62	-	-	-0,01	-2,81	-2,19

Pode concluir-se que, houve um aumento no consumo de combustível com a alteração do combustível, cerca de 6% após 10k km percorridos e 8% após 20k km. Além disso, foi observada uma diminuição, entre os 10k e os 20k, de aproximadamente 2% no consumo de combustível nos últimos 10k km percorridos. Esta redução pode ser atribuída a uma variedade de fatores externos, como uma temperatura mais alta de admissão para o ensaio de 20k km, que varia entre 2% para o primeiro ciclo WLTC e 6% para o último, como ilustrado na Tabela 18, juntamente com uma diminuição média da humidade de 75,37% para 45,90%.

4.3.2. Gasolina

Na seguinte Tabela 24, são apresentadas as distâncias percorridas e a média de consumo de combustível obtida em cada ciclo para os ensaios realizados do veículo a **gasolina**. A partir destes dados, calculou-se a diferença percentual dentro de cada ciclo entre os ensaios, com o objetivo de analisar se houve aumento ou diminuição no consumo de combustível entre os testes. Caso seja mantida repetibilidade durante todos os ensaios, esta análise permite avaliar se as variações observadas advêm da alteração do combustível utilizado.

Tabela 24: Comparação do consumo de combustível no veículo a gasolina entre ensaios dentro de cada ciclo.

	WLTC1		WLTC2		WLTC3		Global
	Distância percorrida [km]	Média [l/100km]	Distância percorrida [km]	Média [l/100km]	Distância percorrida [km]	Média [l/100km]	Média [l/100km]
T1: 0 km	23.127	7,374	23.126	7,432	23.185	7,372	7,393
T2: 15k km	23.134	7,290	22.915	7,330	23.290	7,277	7,299
T3: 30k km	22.899	7,525	22.914	7,472	22.903	7,462	7,486
	Diferença percentual [%]						
T1 → T2	0,55	-7,68	-0,81	-2,79	0,87	-2,62	-1,28
T1 → T3	-0,47	-4,32	-0,81	-0,83	-0,80	-0,08	1,25
T2 → T3	-1,02	3,12	0,00	1,90	-1,69	2,48	2,50

Analisando a Tabela 24, é possível observar que existem pequenas flutuações no consumo de combustível, sendo o consumo mais elevado registado nos últimos ensaios com 30k km. Talvez devido às oscilações da pressão absoluta do coletor de admissão que ocorreram nestes ensaios, aliado ao fato de estes testes terem sido realizados num dia mais frio comparativamente aos restantes. O motor é sobrealimentado e controla a pressão, portanto algo fez aumentar a pressão. No entanto, não existem dados suficientes para aprofundar esta

hipótese. Pode concluir-se que, sem a disponibilidade de usar um laboratório climatizado, o horário em que os ensaios são realizados exerce influência nos resultados obtidos.

4.4. Testes de desempenho – Dinamómetro

Como mencionado anteriormente na secção 3.1 Plano/cronologia de trabalhos, foram conduzidos dois tipos de testes para avaliar o desempenho do veículo: testes contínuos e testes discretos. Os valores obtidos nos testes contínuos foram utilizados principalmente para uma avaliação mais rápida da potência do motor e, assim, comparados com os valores estabelecidos pelo fabricante, além de servirem como validação dos resultados dos testes discretos. Com estes ainda é possível com maior precisão comparar regimes representativos do normal funcionamento do motor. Cada teste compreendeu três medições, sendo que o resultado de cada teste correspondeu à média dessas três medições. A incerteza do dinamómetro utilizado é de $\pm 2\%$.

4.4.1. Diesel

A seguir são apresentados os resultados dos testes discretos (TD) no Gráfico 19, juntamente com os valores declarados pelo fabricante: potência - representada pelo asterisco vermelho (Pmax OEM) e binário - representado pelo asterisco azul (Bmax OEM).

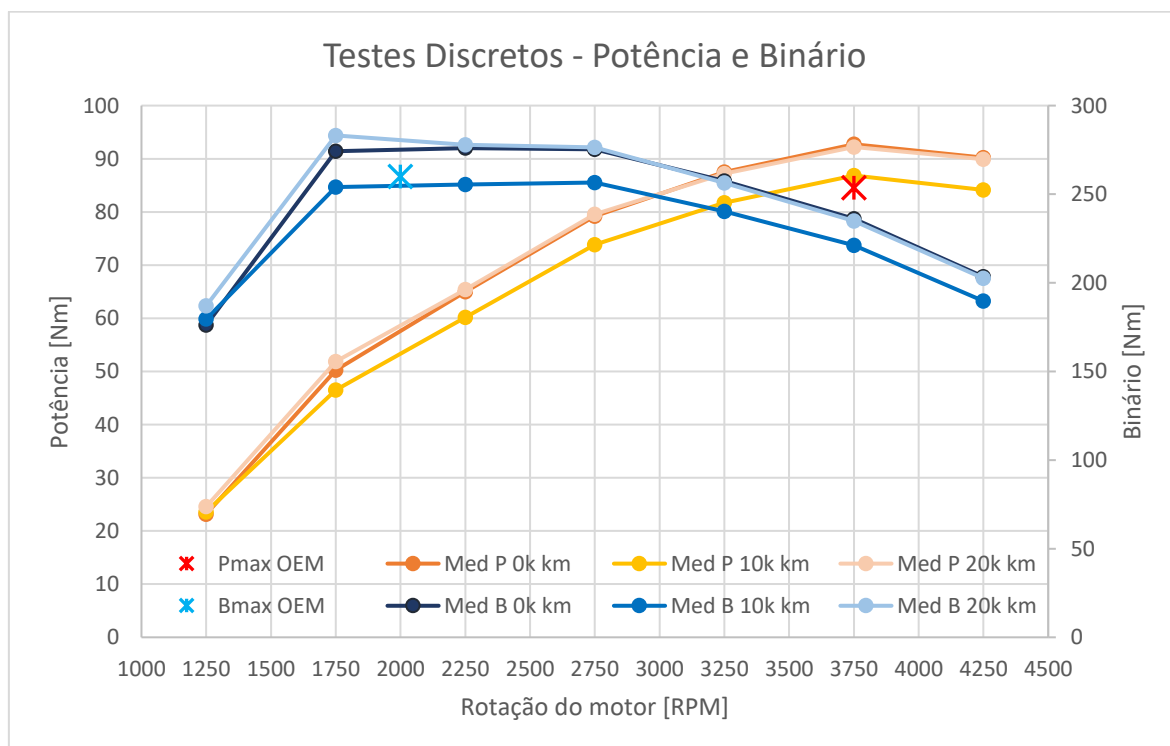


Gráfico 19: Curvas de Potência e Binário obtidas em testes discretos para as diferentes fases.

Em relação à potência anunciada pelo fabricante, a análise do Gráfico 19 revela que a potência máxima do motor, para os ensaios realizados, é alcançada na rotação indicada pelo fabricante (3750 RPM), apresentando consistentemente valores de potência superiores aos anunciados. Observa-se um comportamento semelhante para o binário máximo, com valores ligeiramente superiores aos anunciados pelo fabricante, exceto no teste realizados na fase intermédia do estudo com 10k km.

No Gráfico 19, é evidente que a média dos ensaios realizados com 10k km apresenta valores de potência e binário inferiores em relação às outras médias. Assim sendo, será investigado de seguida o que causou este desvio para os 10k km comparativamente ao ensaio com 20k km, visto que ambos usam o mesmo combustível.

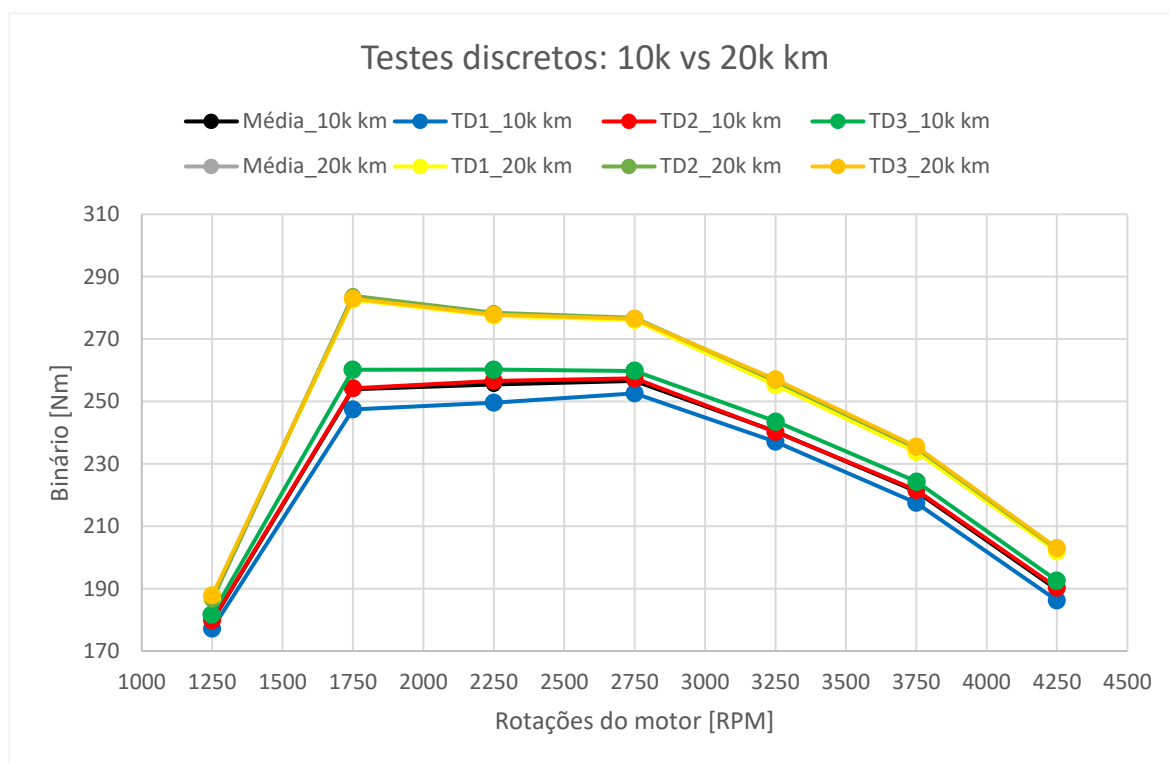


Gráfico 20: Comparação dos binários obtidos nos testes discretos para 10k e 20k km.

No Gráfico 20, observa-se que existiram oscilações nos valores obtidos nos testes discretos realizados aos 10k km, o que não ocorreu nos testes realizados aos 20k km. A maior diferença entre valores para o ensaio com 10k km é observada às 1750 RPM. Para compreender as oscilações que ocorreram nos testes de 10k km, ir-se-á primeiro comparar a diferença percentual da média de ambos os ensaios, como mostrado na Tabela 25.

Tabela 25: Comparação da média de binário obtida para os ensaios de 10k e 20k km.

n [RPM]	Média - Binário [Nm]		Diferença percentual [%]
	10k km	20k km	
1250	179,58	187,05	4%
1750	253,96	283,15	11%
2250	255,50	277,93	9%
2750	256,59	276,49	8%
3250	240,35	256,33	7%
3750	221,16	234,81	6%
4250	189,66	202,53	7%

Ao analisar a Tabela 25, nota-se uma diferença em toda a gama de rotações, sendo mais pronunciada às 1750 RPM, com uma diferença de 11% entre os ensaios, mas no global anda em torno dos 8%. Portanto, esta rotação será isolada para perceber quais as alterações que ocorreram entre os ensaios, conforme mostrado na Tabela 26.

Tabela 26: Comparação de parâmetros obtidos via OBD do veículo a diesel para a rotação de 1750 RPM.

10k km						
Teste	MAFR [g/s]	IMAP [kPa]	EFR [l/h]	TAA [°C]	TA [°C]	Binário [Nm]
TD1	45,23	240,00	11,00	37	15	247,46
TD2	45,33	246,67	11,08	36	15	254,25
TD3	47,02	250,00	11,38	37	15	260,17
20k km						
TD1	46,86	280,00	12,80	42	20	282,67
TD2	46,73	280,00	12,88	42	20	283,86
TD3	47,07	280,00	12,80	41	21	282,93

MAFR – Fluxo de ar mássico; IMAP – Pressão absoluta do coletor de admissão; EFR – Fluxo de combustível para o motor; TAA – Temperatura do ar admitido; TA – Temperatura ambiente.

Na Tabela 26, foram selecionados apenas três parâmetros, obtidos através da porta OBD do veículo, considerados mais relevantes para análise. Adicionalmente, é apresentado o valor de binário obtido durante os ensaios. Observa-se um aumento de pressão no coletor de admissão do TD1 para TD3, no ensaio para 10k km, o que indica que o motor pode admitir uma maior massa de ar, resultando a possibilidade de injetar uma maior quantidade de combustível, que resultará num aumento de potência/binário. No ensaio com 20k km, a pressão no coletor de admissão permaneceu constante e o fluxo de massa de ar admitido mostra valores muito próximos entre si, refletindo valores de binário mais consistentes. Entre os ensaios, de 10k km para 20k km, foi feita uma substituição do filtro de combustível, que explicará o maior fluxo de combustível, resultando num melhor desempenho do motor. A influência desta substituição é visível em todas as rotações ensaiadas.

De seguida, na Tabela 27, é apresentada a incerteza obtida nos ensaios com 10k km, juntamente com o binário obtido nos três ensaios realizados e a média correspondente para cada rotação considerada. A análise dos resultados revela que a incerteza média obtida está próxima da incerteza do aparelho de medição, o dinamómetro. Portanto, os resultados obtidos demonstram consistência e confiabilidade. Como resultado, não se justifica uma análise mais aprofundada das variações de binário e potência, devido à razão mencionada anteriormente. Estes resultados também são representados no Gráfico 21, que mostra o binário médio e a diferença correspondente.

Tabela 27: Binário obtido nos testes discretos com 10k km, juntamente com a média e incerteza correspondente.

n [RPM]	TD1	TD2	TD3	Média	Diferença média [%]
	B [Nm]	B [Nm]	B [Nm]	B [Nm]	
1250	177,11	179,83	181,79	179,58	1,30%
1750	247,46	254,25	260,17	253,96	2,50%
2250	249,65	256,61	260,24	255,50	2,07%
2750	252,61	257,42	259,76	256,59	1,39%
3250	237,12	240,25	243,68	240,35	1,36%
3750	217,53	221,58	224,37	221,16	1,55%
4250	186,20	190,27	192,51	189,66	1,66%

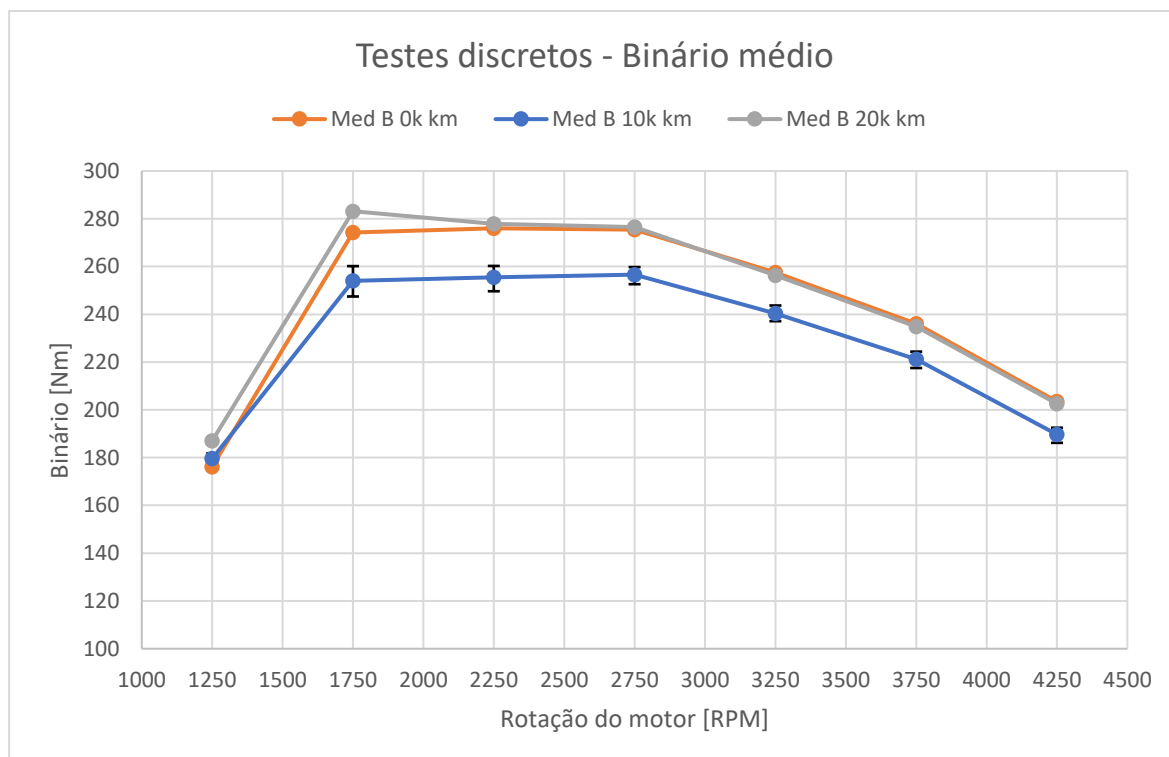


Gráfico 21: Curvas de binário médio obtidas em testes discretos para as diferentes fases.

Seguidamente é apresentada a média dos resultados dos testes contínuos (TD) no Gráfico 22 para o veículo a diesel, juntamente com os valores declarados pelo fabricante: potência - representada pelo asterisco azul (Pmax OEM) e binário - representado pelo asterisco vermelho (Bmax OEM).

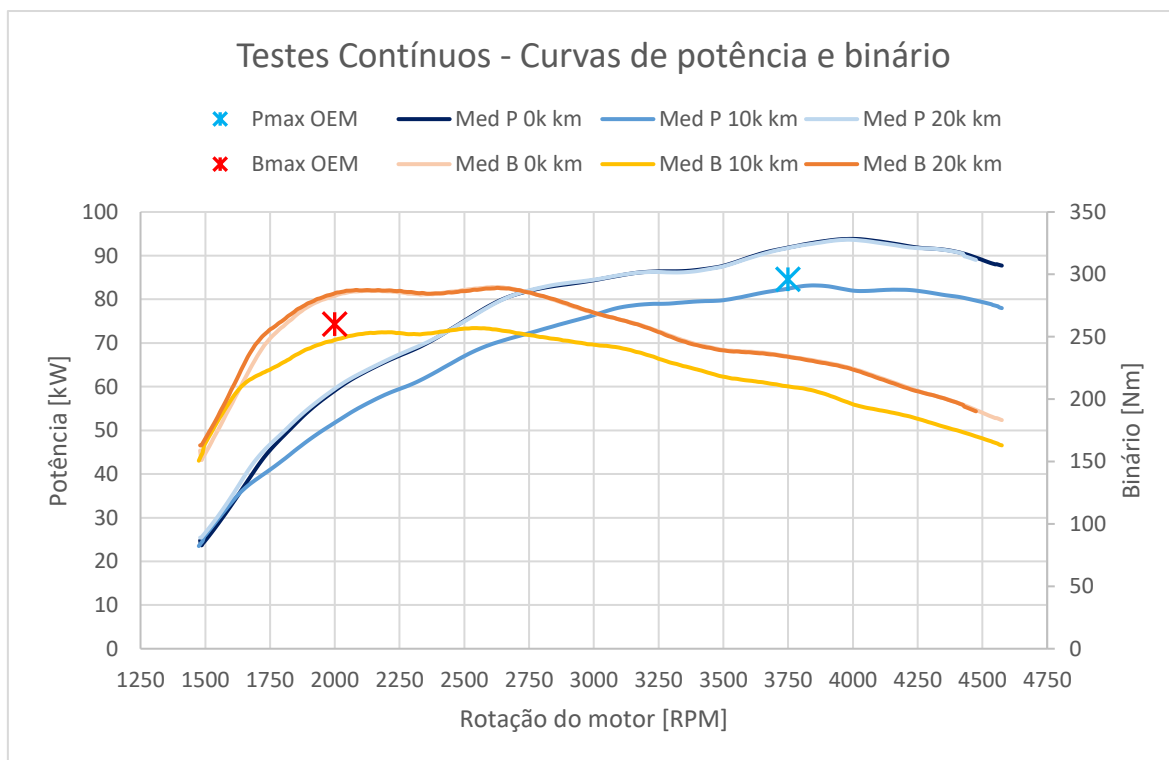


Gráfico 22: Curvas de potência e binário obtidas em testes contínuos para o veículo a diesel.

Na análise do Gráfico 22, observa-se que a potência máxima do motor, com ambos os combustíveis em análise, corresponde a um regime de rotação do motor muito próximo da rotação anunciada pelo fabricante (cerca de 4000 RPM em comparação às 3750 RPM anunciadas), e sempre com valores de potência superiores aos anunciados, exceto no ensaio com 10k km. Por outro lado, o binário máximo apresentou um comportamento diferente, atingiu o seu pico entre as 2000 RPM e as 2750 RPM, tendo alcançado o valor máximo numa rotação superior à indicada pelo fabricante (aproximadamente 2600 RPM face às 2000 RPM), e sempre com valores de binário superiores ao valor anunciado, também à exceção do ensaio com 10k km. Já como verificado nos TD, os ensaios com 10k km, apresentaram uma redução na potência e binário debitados pelo motor ao longo de toda a gama de rotação.

4.4.2. Gasolina

São de seguida apresentados os resultados dos testes discretos (TD) para o veículo a gasolina no Gráfico 23, assim como os valores anunciados pelo fabricante: potência – asterisco azul (Pmax OEM) e binário – asterisco vermelho (Bmax OEM).

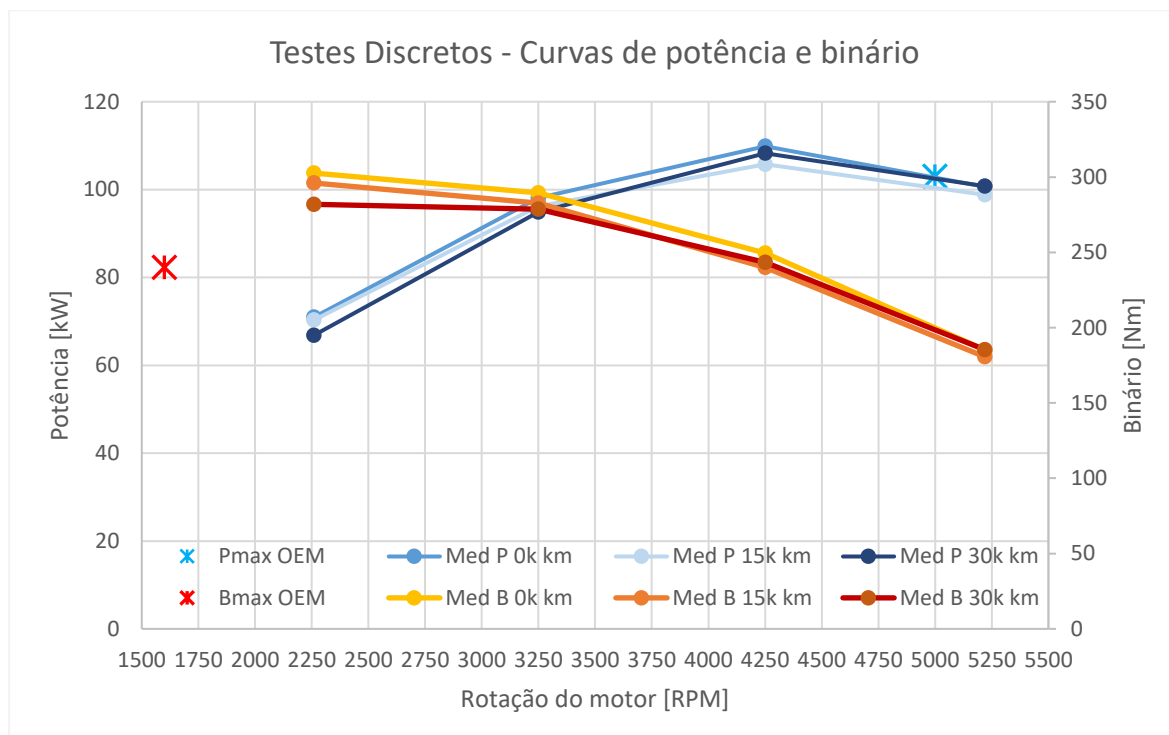


Gráfico 23: Curvas de potência e binário obtidas em testes discretos para as diferentes fases.

Analisando de modo comparativo os diferentes valores de binário obtidos nos testes discretos para os ensaios apresentados no Gráfico 23, é possível verificar que existem diferenças, principalmente nas gamas de rotação mais baixas, como também é visível na Tabela 28. Note-se que as diferenças percentuais verificadas no binário são similares às verificadas na potência, o que é expectável, uma vez que se está a comparar valores obtidos em regimes de rotação definidos. Deste modo pode afirmar-se que a utilização do combustível em estudo, com 15k e 30k km, apresenta para o motor do veículo uma perda de binário face aos valores apresentados por este motor quando abastecido com o combustível inicial aos 0 km.

Apresenta-se a incerteza obtida face ao valor médio em todos os ensaios realizados na Tabela 28, juntamente com o binário obtido nos três ensaios realizados e a média correspondente para cada rotação considerada. A análise dos resultados revela que a incerteza média obtida está próxima da do aparelho de medição, o dinamómetro ($\pm 2\%$). Portanto, os resultados

obtidos demonstram consistência e confiabilidade. Como resultado, não se justifica uma análise mais aprofundada das variações de binário e potência, devido à razão mencionada anteriormente.

Tabela 28: Binário obtido nos testes discretos, juntamente com a média e incerteza correspondente.

0 km					
n [RPM]	TD1	TD2	TD3	Média	Diferença média [%]
	B [Nm]	B [Nm]	B [Nm]	B [Nm]	
2260	303,872	303,469	300,524	302,622	0,55%
3250	288,169	289,341	290,686	289,399	0,43%
4250	245,485	252,211	250,754	249,483	1,35%
5220	185,106	185,915	184,601	185,207	0,35%
15k km					
2260	294,933	296,217	296,932	296,027	0,34%
3250	281,408	282,708	283,729	282,615	0,41%
4250	241,937	237,659	240,108	239,901	0,89%
5220	183,654	179,64	178,632	180,642	1,39%
30k km					
2260	281,378	284,204	280,083	281,888	0,73%
3250	279,166	280,266	276,573	278,668	0,66%
4250	243,443	242,310	244,268	243,340	0,40%
5220	181,826	189,295	184,964	185,362	2,01%

Para investigar as diferenças obtidas no binário entre todos os ensaios, foi selecionada a rotação de 2260 RPM, devido à maior discrepância de binário entre estes ensaios, conforme visível na Tabela 28. A seguir, na Tabela 29, serão apresentados os parâmetros obtidos via OBD para os ensaios realizados.

Tabela 29: Comparação de parâmetros obtidos via OBD do veículo a gasolina para a rotação de 2260 RPM.

0 km						
Teste	IMAP [kPa]	TAA [°C]	FAR - λ	EFR [l/h]	ECT [°C]	Binário [Nm]
TD1	244,706	45,00	0,996	24,70	84,00	303,872
TD2	242,353	44,00	0,997	24,80	84,00	303,469
TD3	237,412	43,47	0,996	23,02	86,00	300,524
15k km						
TD1	240,000	44,00	0,997	23,55	81,00	294,933
TD2	243,583	45,32	0,996	23,80	85,00	296,217
TD3	242,353	45,00	0,996	23,97	84,00	296,932
30k km						
TD1	227,336	39,65	0,997	22,72	84,97	281,378
TD2	226,346	39,61	0,995	22,31	84,82	284,204
TD3	226,471	38,00	0,996	22,25	85,00	280,083

IMAP – Pressão absoluta do coletor de admissão; TAA – Temperatura do ar admitido; FAR – razão de ar/combustível; EFR – Fluxo de combustível para o motor; ECT – Temperatura do líquido de refrigeração.

Na Tabela 29, foram selecionados cinco parâmetros obtidos através da porta OBD do veículo, considerados os mais relevantes para análise: a pressão absoluta do coletor de admissão (IMAP), a temperatura do ar admitido (IAT), a razão ar/combustível (FAR), o fluxo de combustível para o motor (EFR) e a temperatura do líquido de refrigeração (ECT). O fluxo de massa de ar admitido não está apresentado porque este veículo não faz a aquisição desse dado. Adicionalmente, é apresentado o valor de binário obtido durante os ensaios. No primeiro ensaio, com 0 km, observa-se que apenas o TD3 tem um valor de binário inferior. Tal deve-se a uma menor pressão no coletor de admissão, que resulta numa menor quantidade de combustível debitado, para a mesma razão de ar/combustível, gerando uma diminuição de potência/binário debitado. No entanto, para o último ensaio com 30k km, esta mesma analogia não pode ser aplicada. Ao comparar o ensaio de 0 km com o de 15k km e de 30k km, nota-se que existe uma redução do binário. Esta, pode ser explicada pela diferença do combustível usado nestes dois últimos ensaios ser diferente do primeiro, e, adicionalmente, também devido a uma menor pressão no coletor de admissão, o que resulta numa menor quantidade de combustível admitida. Além disso, a diferença de aproximadamente 5°C na temperatura do ar admitido também pode ter alguma influência nessa diminuição de binário. O ensaio de 15k km foi incluído na tabela apenas como ponto de referência para comparação, uma vez que utiliza o mesmo combustível que o ensaio de 30k km, mas difere do ensaio de 0 km. Assim, podemos explicar que a redução no binário do ensaio de 0 km para os 15k km se pode dever, em parte, à utilização de um combustível diferente, já que os demais valores são bastante semelhantes entre estes ensaios. As diferenças entre o ensaio de 15k km e o de 30k km também podem ser atribuídas à queda de pressão no coletor de admissão e ao combustível debitado.

São de seguida apresentados a média dos resultados dos testes contínuos (TC) no Gráfico 24 para o veículo a gasolina, assim como os valores anunciados pelo fabricante: potência – asterisco vermelho (Pmax OEM) e binário – asterisco azul (Bmax OEM).

Em relação à potência anunciado pelo fabricante, a análise do Gráfico 24 revela que a potência máxima do motor, durante os ensaios realizados, é atingida na rotação indicada pelo fabricante (5000 RPM), apresentando consistentemente valores de potência superiores aos anunciados pelo fabricante. Quanto ao binário máximo, não há valores disponíveis para comparar com o anunciado. Conforme verificado nos TD, o ensaio com 15k e 30k km,

apresentam uma redução na potência e binário debitados pelo motor ao longo de toda a gama de rotação.

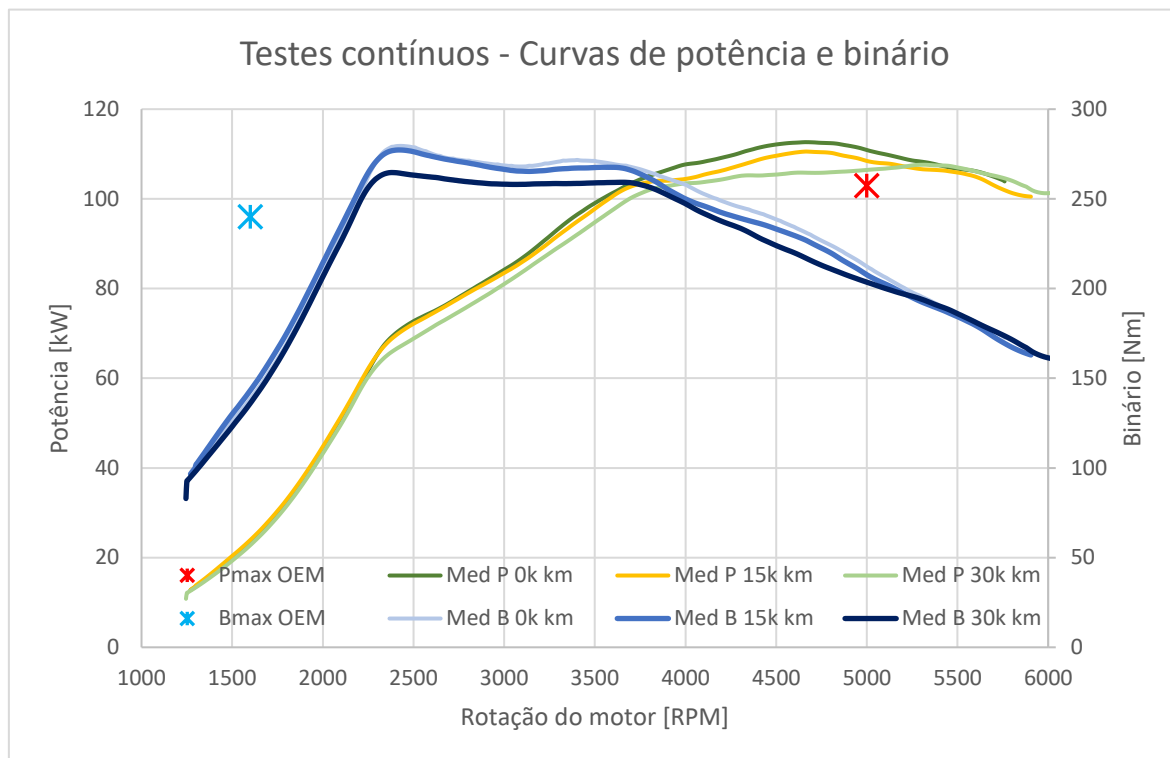


Gráfico 24: Curvas de potência e binário obtidas em testes contínuos para o veículo a gasolina.

Potência e binário anunciados pelo fabricante – Através da análise do Gráfico 24 verifica-se que a potência máxima do motor, com ambos os combustíveis em análise, é obtida num valor de rotação muito próximo da rotação anunciada pelo fabricante (cerca das 4750 RPM face às 5000 RPM) e sempre com valores de potência superiores ao valor anunciado. O binário máximo, com ambos os combustíveis em análise, foi obtido numa rotação superior à anunciada pelo fabricante (cerca das 2400 RPM face às 1600 RPM) e sempre com valores de binário superiores ao valor anunciado. Estas diferenças são plenamente justificadas, quer pela forma como são realizados os ensaios, quer pela diferença relativamente ao processo de homologação. A configuração do dinamómetro foi ajustada de modo que a temperatura do ar admitido nos regimes elevados não atingisse valores elevados, e assim a ECU do motor não entrasse em modo de segurança. Esta configuração torna os ensaios mais rápidos e com menor precisão nos regimes mais baixos. No presente trabalho, os valores apresentados pelo fabricante servem apenas como referência base para aferir o estado do motor, no entanto, para os objetivos do trabalho, o importante é avaliar nas mesmas circunstâncias os resultados

obtidos com cada um dos combustíveis em estudo, pelo que as diferenças registadas não têm uma particular relevância.

4.5. Testes de consumo em estrada

Na Tabela 30 e no Gráfico 25 encontram-se apresentados os resultados do consumo de combustível em estrada, e em dinamómetro, calculados através dos métodos indicados na secção 3.2.6. Medição de consumo de combustível. É possível verificar uma diferença significativa entre a média do consumo indicado no “quadrante” e o consumo obtido através dos restantes métodos de cálculo, de aproximadamente 0,5 l/100km, o que indica a existência de um elevado erro na determinação da média através destes dados. Os valores de consumo médio determinados através da média entre abastecimentos e da média global de abastecimentos apresentam uma grande semelhança, tendo sido considerados para análise os valores calculados segundo a média global, uma vez que estes não possuem a variabilidade associada ao número de quilómetros percorridos entre abastecimentos. Desta forma, verifica-se que o veículo apresentou um consumo médio em estrada de 6,7 l/100km, em percursos realizados nas condições indicadas na secção 3.2.10 Testes em Estrada.

Os valores presentes na Tabela 30 são obtidos da seguinte forma:

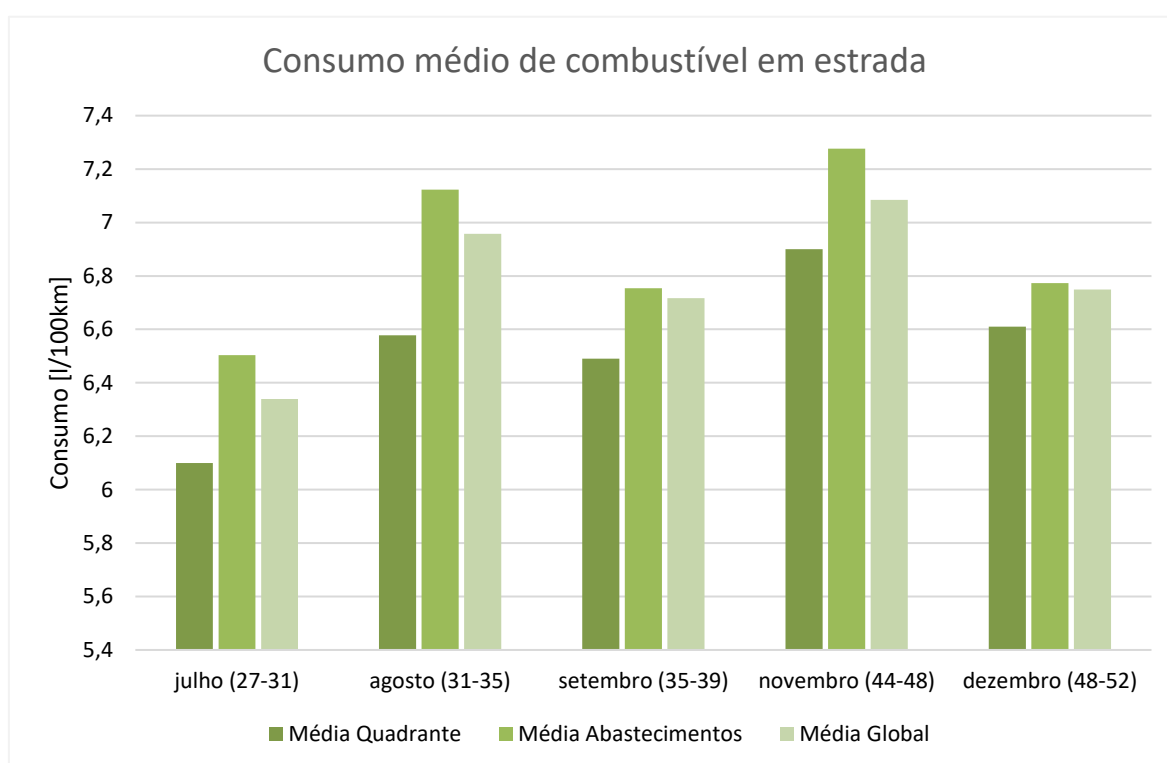
Média do quadrante: A média de combustível exibida no veículo é medida por sensores instalados no sistema de injeção de combustível que medem a quantidade de combustível que é injetada no motor. Estes sensores fornecem dados contínuos sobre o fluxo de combustível. Simultaneamente, o sistema de gestão do veículo regista a distância percorrida através de sensores de velocidade que medem a distância que o veículo percorreu. A média de consumo é obtida somando os dados de consumo de combustível instantâneo ao longo do tempo e dividindo pela distância total percorrida.

Média do consumo entre abastecimentos: O consumo médio entre abastecimentos foi calculado através do rácio entre os litros de combustível abastecidos e os quilómetros percorridos entre abastecimentos.

Média global de abastecimentos: Este valor é uma média do consumo obtido no quadrante entre abastecimentos.

Tabela 30: Resultados do consumo de combustível em estrada.

Mês/semana	Média do quadrante [l/100km]	Média do consumo entre abastecimentos [l/100km]	Média global de abastecimentos [l/100km]
julho (27-31)	6,1	6,5	6,3
agosto (31-35)	6,6	7,1	7,0
setembro (35-39)	6,5	6,8	6,7
novembro (44-48)	6,9	7,3	7,1
dezembro (48-52)	6,6	6,8	6,7
Média	6,5	6,9	6,7

**Gráfico 25: Comparação dos resultados de consumo de combustível obtidos em estrada entre os meses de julho e dezembro.**

Analisando a Tabela 30 e o Gráfico 25, é possível verificar que, em praticamente todos os meses, as diferenças entre as médias dos consumos obtidos no quadrante e entre abastecimentos não variam mais do que 0,5 l/100km, que correspondem a 7,7% do consumo médio. Os consumos apresentam uma diferença em média de 0,36 l/100km em relação à média do quadrante, que provém da imprecisão de quantos litros foram consumidos na totalidade e quantos ainda se encontram no depósito de combustível para fazer o cálculo e devido ao modo diferente de medição do consumo. No geral, a média de consumo indicada

pelo quadrante apresentou poucas flutuações durante o período de agosto a dezembro, meses em que o mesmo condutor operou o veículo continuamente. Já para o mês de julho, durante os primeiros 7,5 mil km, o veículo foi conduzido por vários condutores diferentes, justificando a ligeira oscilação do consumo de combustível face aos restantes meses. O mês de outubro não é apresentado na Tabela 30 e no Gráfico 25, devido à inexistência de dados de consumos do quadrante suficientes para a demonstração de resultados.

5. Conclusão

5.1. Conclusões para Veículo a Diesel

1. Ensaio Laboratoriais:

Os testes laboratoriais mostraram que o desempenho (potência e binário) não sofreram alterações significativas, exceto no ensaio com 10k km, que apresenta uma diminuição média de potência em torno de 8%. Esta diminuição deve-se a uma menor pressão absoluta no coletor de admissão, em comparação com os ensaios com 0 km e 20k km. O consumo foi avaliado com precisão, utilizando uma balança para medir a massa de combustível e um caudalímetro para o volume, resultando numa média de consumo confiável. Observou-se um aumento no consumo de combustível de 6% após 10k km percorridos e de 8% após 20k km.

2. Fatores Externos:

As diferenças observadas nos resultados dos ensaios, analisados via OBD, identificaram a variação da pressão absoluta no coletor de admissão, o fluxo de ar mássico e o fluxo de combustível como potenciais causas de variações no consumo. Esta análise dos dados OBD ajudou a identificar estas flutuações, destacando a importância de um controle rigoroso dos parâmetros do motor durante os ensaios.

As variações da temperatura ambiente no laboratório, que não é climatizado, afetaram a temperatura do ar admitido pelo motor. Este fator também impactou o consumo de combustível, conforme observado nas medições realizadas, confirmando que as condições ambientais desempenham um papel significativo no consumo de combustível dos motores.

Durante a realização dos ciclos padronizados, conduzidos por um técnico experiente, as discrepâncias de velocidade foram inferiores a 1%. A consistência dos resultados entre diferentes ciclos valida a metodologia utilizada e fornece uma base sólida para comparações.

5.2. Conclusões para Veículo a Gasolina

1. Ensaio laboratoriais:

Os testes laboratoriais revelaram flutuações no consumo médio de combustível do veículo a gasolina, impossibilitando uma conclusão definitiva sobre se o combustível em estudo

umenta ou diminui o consumo. Além disso, a ausência de um laboratório climatizado mostrou que o horário dos ensaios influencia os resultados. Porém, os testes indicaram uma diminuição gradual no desempenho (potência e binário) ao longo dos quilômetros percorridos, possivelmente devido ao desgaste do motor e a outros fatores não replicados em todos os ensaios.

2. Fatores Externos:

Durante a realização dos ciclos padronizados, as discrepâncias de velocidade foram menores que 1%, exceto no ensaio com 30k km, que variou entre 1% e 2%. Estas variações, observadas ao longo de todo o ciclo, indicam que a concentração, rigor e experiência do condutor são cruciais para a precisão dos testes, mostrando que o condutor é um fator externo significativo nos resultados.

Diferenças na pressão absoluta no coletor de admissão, detetadas através dos dados OBD, influenciaram o desempenho do motor. Estes fatores são críticos para garantir a precisão das medições de consumo e emissões, destacando a importância do monitoramento contínuo e dos ajustes adequados e/ou necessários.

3. Ensaio em estrada:

A análise dos dados adquiridos ao longo de 30k km em condições reais reforçou a validade dos resultados obtidos em laboratório. Os testes em estrada registaram ligeiras perdas de potência e binário do motor, mas não será possível associar estas reduções à utilização do combustível, dado que existiu uma troca de pneumáticos a meio deste estudo (15k km) o que afetou as perdas do sistema de transmissão de potência às rodas. Além disso, é necessário considerar uma redução esperada no desempenho do motor devido ao desgaste natural ao longo dos 30k km. Durante os ensaios, houve uma diferença média de cerca de 0,5 l/100km entre o consumo registado no quadrante do veículo e o consumo calculado, indicando que o sistema de medição a bordo pode subestimar o consumo real. Assim, pode-se concluir que as diferenças registadas são insignificantes ou não foram motivadas pela utilização do combustível em estudo. Posto isto, verifica-se que o veículo apresentou um consumo médio de 6,7 l/100km durante os ensaios em estrada.

5.3. Discussão das Implicações

As implicações destes resultados são significativas para a indústria automóvel, destacando a importância de seguir metodologias rigorosas e garantir a repetibilidade nos ensaios realizados. A análise evidenciou que fatores externos, como a variação da temperatura ambiente e a troca de pneumáticos, podem impactar os resultados. Portanto, é essencial um controle rigoroso destes fatores durante os ensaios para assegurar a precisão e a confiabilidade das medições. A continuação da investigação nesta área é crucial para entender melhor a influência destes fatores externos em condições reais de utilização e para aprimorar as metodologias de teste.

5.4. Limitações e Recomendações de Trabalho Futuro

Este estudo apresenta algumas limitações, incluindo a variabilidade nas condições de teste e a dificuldade em controlar todos os fatores externos. Com base nos resultados obtidos e nas análises realizadas, algumas sugestões para trabalhos futuros emergem:

1. Horário dos Testes em Laboratório:

Recomenda-se realizar os testes em um horário em que a temperatura ambiente seja mais estável, como no início da tarde, especialmente para laboratórios não climatizados. Isto garantirá condições mais consistentes durante os testes, minimizando assim o impacto que as variações de temperatura têm nos resultados.

2. Bateria do Veículo e Estabilizador de Baterias:

Durante os testes, é crucial garantir que a bateria do veículo esteja sempre ligada a um estabilizador de baterias. Isto ajudará a manter a estabilidade da fonte de energia do veículo durante os testes, garantindo resultados mais confiáveis e consistentes.

3. Set de Pneus para Ensaios em Laboratório:

Considerando os quilômetros percorridos durante os ensaios em estrada, sugere-se ter um conjunto de pneus dedicado exclusivamente para uso durante os testes em laboratório. Isto permitirá controlar melhor as variáveis externas que podem afetar os resultados, como o desgaste dos pneus, garantindo assim a consistência dos dados obtidos. Análogo aos pneus, o mesmo pode-se considerar para o filtro de ar.

4. Verificação Regular do Nível de Óleo:

É fundamental realizar verificações regulares do nível de óleo durante os testes para garantir o bom funcionamento do motor e evitar possíveis danos. Manter o nível de óleo adequado é crucial para garantir resultados precisos e confiáveis durante os testes de veículos.

5. Ensaio em Estrada com PEMS:

Futuramente, recomenda-se a realização de ensaios em estrada utilizando Sistemas Portáteis de Medição das Emissões (PEMS) para obter dados mais representativos das condições reais de operação. O uso adequado de ferramentas como o PEMS permitirá uma recolha de dados mais precisa e abrangente, oferecendo uma visão mais detalhada do desempenho e das emissões dos veículos em diferentes condições de circulação.

6. Metodologia de Recolha de Dados:

É importante padronizar a metodologia de recolha de dados para garantir a repetibilidade dos ensaios. A utilização de equipamentos avançados e a implementação de protocolos rigorosos para a recolha e análise de dados ajudarão a minimizar as variáveis externas e a melhorar a precisão dos resultados.

Estas recomendações visam aprimorar a metodologia de testes e recolha de dados, proporcionando resultados mais consistentes e confiáveis. A aplicação destas sugestões contribuirá para um melhor entendimento do impacto de fatores externos no desempenho e nas emissões dos veículos, além de fomentar avanços na pesquisa de combustíveis de baixo carbono e na avaliação de tecnologias veiculares em condições reais de utilização.

Referências Bibliográficas

- ACEA, W. F. (6 de dezembro de 2017). *What is WLTP and how will it work?* Obtido de WLTP Facts: <https://www.wltpfacts.eu/what-is-wltp-how-will-it-work/>
- Adam. (setembro de 2018). *Source Elemente Guide - contamination, wear metal, additives and multi-origin elements*. Obtido de Learn Oil Analysis: <https://learnoilanalysis.com/lube-oil-test-analysis-lab-lubrication-reliability-maintenance/source-element-guide-contamination-wear-metal-additives-and-multi-origin-elements/>
- Almeida, R. J. (2022). *Monitorização de motores em frotas de veículos*. Instituto Politécnico de Leiria.
- Anthony Martyr, M. A. (2012). *Engine Testing: Theory and Practice*. Butterworth-Heinemann.
- Araújo, B. J. (janeiro de 2015). Desenvolvimento de um Modelo de Caracterização Energética de Ciclos de Condução.
- Berg, W. (8 de janeiro de 2004). The Handbook of Environmental Chemistry Vol. 3. *Legislation for the Reduction of Exhaust Gas Emissions*, pp. 175-253.
- Blueauto. (2023). *WLTP: perguntas e respostas sobre o novo ciclo de testes*. Obtido de blueauto à descoberta do futuro automóvel: <https://www.blueauto.pt/single-post/2018/08/28/wltp-perguntas-e-respostas-sobre-o-novo-ciclo-de-testes>
- C. Vagg, C. J. (novembro de 2012). Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - Part D: Journal of Automobile Engineering. *Development of a new method to assess fuel saving using gear shift indicators*, pp. 1630-1639.
- C. J. Brace, R. B. (2009). Increasing accuracy and repeatability of fuel consumption measurement in chassis dynamometer testing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 1163-1177.
- Caterpillar Energy Solutions. (2019). *Specification for lube oil*. Mannheim, Alemanha: Carl-Benz-Str.
- Chappell, E. C. (2015). *Improving the Precision of Vehicle Fuel Economy Testing on a Chassis Dynamometer*.
- CHASSIS DYNAMOMETERS FOR ALL WHEELS. (2024). Obtido de KS ENGINEERS: <https://www.ksengineers.com/en/Automotive-Testing/Testing-equipment/Chassis-dynamometers>
- Chris John Brace, R. B. (setembro de 2009). Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering. *Increasing accuracy and*

- repeatability of fuel consumption measurement in chassis dynamometer testing*, pp. 1163-1177.
- Dornoff, J., & Rodríguez, F. (2019). GASOLINE VERSUS DIESEL: Comparing CO2 emission levels of a modern medium size car model under laboratory and on-road testing conditions. *WHITE PAPER: International Council on Clean Transportation*.
- Electronics, C. (2024). *CSS Electronics*. Obtido de <https://www.csselectronics.com/products/can-bus-data-logger-wifi-canedge2-gnss-imu?variant=42308389175484>
- FIAT. (2023). *WLTP e RDE*. Obtido de FIAT Professional: <https://www.fiatprofessional.com/pt/testes-wltp-e-rde>
- Fischl, F. u. (s.d.). *Spritmonitor*. Obtido de www.spritmonitor.de
- Fonseca Pereira, J. S. (14-16 de novembro de 2001). 1as Jornadas Politécnicas de Engenharia, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria. *Teste de veículos em banco de potência*.
- Genta, G. (1997). *Motor Vehicle Dynamics: Modeling and Simulation*. World Scientific.
- Gerrit Kadijk, M. V. (5 de dezembro de 2012). European Commission – DG CLIMA. *Supporting Analysis regarding Test Procedure Flexibilities and Technology Deployment for Review of the Light Duty Vehicle CO2 Regulations*.
- Giakoumis, E. G. (2017). *Driving and Engine Cycles*. Springer Cham.
- Helge Schmidt, J. B. (28 de abril de 2016). 16. Internationales Stuttgarter Symposium. *From laboratory to road – Real Driving Emissions*, pp. 59–67.
- Iman K. Reksowardojo, H. S. (2020). An Investigation of Laboratory and Road Test of Common Rail Injection Vehicles Fueled with B20 Biodiesel. *Energies*, 15.
- Janet Yanowitz, R. L. (29 de janeiro de 2000). Environmental Science & Technology. *In-Use Emissions from Heavy-Duty Diesel Vehicles*, pp. 729-740.
- Jurgen, R. K. (1999). *Automotive Electronics Handbook* (2º ed.). McGraw-Hill Professional.
- L. Serrano, V. C. (2012). On-road performance comparison of two identical cars consuming petrodiesel and biodiesel. *Elsevier - Fuel Processing Technology*, 125-133.
- MAHA. (27 de 10 de 2021). *MAHA*. Obtido em 2024, de MAHA: https://www.maha.de/restriction/check-asset/support_documents/dokumente/Betriebsanleitungen/04%20Leistungsmesstechnik/BA052301-en.pdf

- Martin Weiss, P. B. (2013). *A complementary emissions test for light-duty vehicles: Assessing the technical feasibility of candidate procedures*. Institute for Energy and Transport (Joint Research Centre).
- Martyr A. J, P. M. (2012). *Engine Testing: Theory and Practice*. Butterworth-Heinemann.
- Mathies, K. (setembro de 2022). *EU: Cars and Light Trucks: RDE Testing*. Obtido de DieselNet: https://dieselnet.com/standards/eu/ld_rde.php
- Mazer, M. F. (2020). *COMPARAÇÃO DE CICLOS DE CONDUÇÃO PADRÃO APLICADOS A UM VEÍCULO DE PASSAGEIROS OPERANDO COM ETANOL*.
meteoblue. (agosto de 2023). Obtido de meteoblue:
https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/weatherarchive/castelo-branco_portugal_2269514?fcstlength=1m&year=2023&month=8
- Monica Tutuianu, A. M. (10 de janeiro de 2014). *Development of a World-wide Worldwide harmonized Light duty driving Test Cycle (WLTC)*.
- Nations, U. (2015). *EU Regulation N°83-07,2015*. Uniform Provisions Concerning the Approval of: Vehicles with Regard to the Emission of Pollutants According to Engine Fuel Requirements. Regulation No. 83-07, ECE - United Nations.
- Nations, U. (21 de outubro de 2023). Obtido de United Nations Treaty Collection: https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XI-B-32&chapter=11&clang=_en
- Oil Analysis Laboratories. (s.d.). *General Guidelines to Alarm Limits*. Obtido de Oil Analysis Laboratories: <https://oilanalysislab.com/general-guidelines-to-lubricant-alarm-limits/>
- P. Mock, U. T. (2014). From Laboratory to Road: A 2014 Update of Official and "Real-world" Fuel Consumption and CO₂ values for passenger cars in Europe. *White Paper - International Council on Clean Transportation*.
- P. Reasbeck, J. G. (1997). *Batteries for Automotive Use (Electronic and Electrical Engineering Research Studies: Power Sources Technology, Vol. 2)*. Research Studies Pre.
- Peter Mock, J. G. (maio de 2013). International Council on Clean Transportation - White Paper. *From laboratory to road: A comparison of official and 'real world' fuel consumption and CO₂ values for cars in Europe and the United States*.
- Piotr Bielaczyc, A. S. (16 de abril de 2007). SAE World Congress & Exhibition. *Analysis of Uncertainty of the Emission Measurement of Gaseous Pollutants on Chassis Dynamometer*, p. 21.

- R. D. Nine, N. N. (1 de junho de 1999). Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. *Development of a heavy-duty chassis dynamometer driving route*, pp. 561-574.
- R. Joumard, J. L. (2009). Accuracy of exhaust emission factor measurements on chassis dynamometer. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 695-703.
- R. Simpkin, C. D. (2012). Energy Efficient Vehicles for Road Transport. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (pp. 3613 - 3621). Europe: ELSEVIER.
- Spritmonitor*. (2019). Obtido de www.spritmonitor.de
- TransportPolicy. (2018). *EU: LIGHT-DUTY: REAL-DRIVING EMISSIONS (RDE)*. Obtido de TransportPolicy: <https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-real-driving-emissions/>
- Tzirakis E., P. K. (30 de maio de 2006). Global NEST Journal. *Vehicle emissions and driving cycles: comparison of the Athens driving cycle (ADC) with ECE-15 and European driving cycle (EDC)*, pp. 282-290.
- Ulrich Adler, P. G. (1995). *Automotive Electric/Electronic Systems*. Robert Bosch.
- Wen G. Wang, N. N. (29 de outubro de 1997). Environmental Science & Technology. *Emissions Comparisons from Alternative Fuel Buses and Diesel Buses with a Chassis Dynamometer Testing Facility*, pp. 3132-3137.
- Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure*. (2024). Obtido de Wikipedia: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Worldwide_Harmonised_Light_Vehicles_Test_Procedure
- Yang, Z., Deng, B., Deng, M., & Huang, S. (janeiro de 2018). *An Overview of Chassis Dynamometer in the Testing of Vehicle Emission*. doi:10.1051/mateconf/201817502015