



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

VITÓRIA JÉSSICA SOUSA SILVA

**ANÁLISE DE PADRÕES DE CICLO DE CONDUÇÃO EM SEGMENTOS VIÁRIOS:
UM ESTUDO DA OPERAÇÃO DE VEÍCULO URBANO DE CARGA – VUC EM
FORTALEZA**

FORTALEZA

2021

VITÓRIA JÉSSICA SOUSA SILVA

ANÁLISE DE PADRÕES DE CICLO DE CONDUÇÃO EM SEGMENTOS VIÁRIOS: UM
ESTUDO DA OPERAÇÃO DE VEÍCULO URBANO DE CARGA – VUC EM
FORTALEZA

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S584a Silva, Vitória Jéssica Sousa.
Análise de padrões de ciclo de condução em segmentos viários : um estudo da operação de veículo urbano de carga / Vitória Jéssica Sousa Silva. – 2021.
74 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini.
1. Ciclos de condução. 2. Emissões veiculares. 3. Aspectos urbanos locais. I. Título.
- CDD 620
-

VITÓRIA JÉSSICA SOUSA SILVA

ANÁLISE DE PADRÕES DE CICLO DE CONDUÇÃO EM SEGMENTOS VIÁRIOS: UM
ESTUDO DA OPERAÇÃO DE VEÍCULO URBANO DE CARGA – VUC EM
FORTALEZA

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Clovis Ernesto de Alencar Matos Filho
Engenheiro Civil

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial aos meus pais, pelo apoio dado durante todos esses anos, sem o qual eu não teria chegado até aqui.

Aos meus grandes amigos Victor Castro, André Linhares, Yuri Lima e Caroline Castro, pela amizade e pelo apoio em diversos momentos da graduação e em minha vida, que fizeram meu caminho menos solitário e meus dias mais felizes.

Ao Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini, pela paciência, gentileza e ensinamentos no último ano. Me sinto honrada e feliz por ter sido sua orientanda.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto e Clovis Ernesto de Alencar Matos Filho pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos amigos da turma Alexandre Conrado, Alex Cacau, Daniel Pereira, Luzardo Madeiro, Pedro Levi e Wanderson Hugues pelos momentos de companheirismo, risos e suporte que me prestaram durante esses cinco anos, que nossa amizade possa durar uma vida.

RESUMO

Ciclos de condução são utilizados intensivamente na estimativa de emissões veiculares e em representações do tráfego local. Diante dos crescentes danos ao meio ambiente e à saúde da população ocasionados pelas emissões veiculares, o estudo desse tipo de ferramenta é essencial, embora ainda seja escasso. O presente trabalho busca analisar ciclos de condução de segmentos viários, por meio da identificação dos fatores que o influenciam e das emissões veiculares associadas. Para a construção dos ciclos de construção foram utilizados dados de condução reais de 28 motoristas, coletados em 2019, que trafegaram em três grandes avenidas da cidade de Fortaleza utilizando Veículos Urbanos de Carga (VUC), com motor ciclo diesel, que para fins de construção do ciclo de condução foram divididas em segmentos menores delimitados pela presença de semáforo. Durante as viagens, houve monitoramento on-board de parâmetros de ciclos de condução, localização e emissões de poluentes a cada 1 Hz. Em geral os resultados, mostraram a influência da programação semafórica nas velocidades desenvolvidas em cada segmento e, conseqüentemente, na emissão de poluentes. Os trechos que apresentaram maiores variações nas velocidades médias desenvolvidas resultaram níveis de emissões muito maiores do que os trechos onde a velocidade média foi constante.

Palavras-chave: Ciclos de condução. Emissões veiculares. Aspectos urbanos locais.

ABSTRACT

Driving cycles are used intensively in the estimation of vehicular emissions and in representations of local traffic. Given the increasing damage to the environment and health of the population caused by vehicular emissions, the study of this type of tool is essential, although it is still scarce. The present work seeks analyzes the driving cycles of road segments, through the identification of the factors that influence it and the associated vehicular emissions. For the construction of the driving cycles, real conduction data from 28 drivers were used, collected in 2019, who traveled on three major avenues of the city of Fortaleza using Urban Freight Transportation, with diesel cycle engine, that for construction of driving cycle purposes they were divided into smaller segments delimited by the presence of traffic light. During the trips, there was on-board monitoring of driving cycle parameters, location and pollutant emissions every 1 Hz. In general, the results showed the influence of the presence of traffic lights on the speeds developed in each segment and, consequently, on the emission of pollutants. The stretches that showed greater variations in the average developed speeds resulted in much higher emission levels than the stretches where the average speed was constant.

Keywords: Driving cycles. Vehicle Emissions. Local urban aspects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de condução “California 7-mode cycle”	26
Figura 2 – Ciclo de condução FTP-75	27
Figura 3 – Ciclo de condução complementar FTP US06	28
Figura 4 – Comparação entre os ciclos de condução NEDC e ECE+EUDC	30
Figura 5 – Ciclo de condução WLTP (classe 3b)	30
Figura 6 – Método proposto	35
Figura 7 – Percurso para construção do ciclo de condução	36
Figura 8 – Esquema que retrata o método de coleta embarcado	39
Figura 9 – Percurso segmentado do ciclo de condução realizado na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil	40
Figura 10 – Velocidade dos condutores no segmento 30 (LO)	45
Figura 11 – Velocidade dos condutores no segmento 23 (LO)	46
Figura 12 – Velocidade dos condutores no segmento 5 (OL)	47
Figura 13 – C1 e C2 para o segmento 5 (OL)	48
Figura 14 – Taxas de parada por segmento	48
Figura 15 – Velocidade média dos condutores com viagem realizadas às 11 horas	49
Figura 16 – Velocidade média dos condutores com viagem realizadas às 13 horas	49
Figura 17 – Ciclos de condução dos segmentos 17 (OL) e 23 (LO)	51
Figura 18 – Ciclos de condução dos segmentos 14 (LO) e 25 (LO)	51
Figura 19 – Perfis de emissão para CO ₂ e NO _x no segmento 17 (OL)	52
Figura 20 – Perfis de emissão para NO _x e CO ₂ no segmento 23(LO)	53
Figura 21 – Perfis de emissão para CO ₂ e NO _x no segmento 14 (LO)	53
Figura 22 – Perfis de emissão para CO ₂ e NO _x no segmento 25 (LO)	54
Figura 23 – Ciclos de condução dos condutores 2 no segmento 1 (OL)	55

Figura 24 – Ciclos de condução dos condutores 15 no segmento 24 (OL)	55
Figura 25 – Perfis de emissão para CO ₂ e NO _x para o condutor 2 no segmento 1 (OL)	56
Figura 26 – Perfis de emissão para CO ₂ e NO _x para o condutor 15 no segmento 14 (OL)	56
Figura 27 – Ciclos de condução do segmento 1 (OL)	57
Figura 28 – Perfis de emissão para CO ₂ e NO _x para o segmento 1 (OL)	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Inovações incrementais para redução e controle de emissões tóxicas automotivas	22
Tabela 2 – Limites de emissões PROCONVE para veículos comerciais leves com massa superior a 1700 kg	23
Tabela 3 – Classificação do ciclo WLTC para veículos leves	31
Tabela 4 – Caracterização das vias selecionadas	37
Tabela 5 – Características básicas dos VUCs	38
Tabela 6 – Número de segmentos por avenida	41
Tabela 7 – Características dos ciclos de condução para os segmentos da Avenidas Jovita Feitosa na cidade de Fortaleza/CE	42
Tabela 8 – Características dos ciclos de condução para os segmentos da Avenida Treze de Maio na cidade de Fortaleza/CE	43
Tabela 9 – Características dos ciclos de condução para os segmentos da Avenida Pontes Vieira na cidade de Fortaleza/CE	44
Tabela 10 – Somatório de segundos parados por segmento	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EEC	<i>European Economic Community</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ECU	<i>Engine Control Unit</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
OBD	<i>On-Board Diagnostic</i>
PROCONVE	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos automotores
RDE	<i>Real Drive Emissions</i>
VSP	<i>Vehicle Specific Power</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
®	Marca registrada
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
NO _x	Óxidos de nitrogênio
NO	Monóxido de nitrogênio
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
O ₂	Oxigênio
SO _x	Óxidos de enxofre

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problema de Pesquisa	15
1.2	Justificativa	15
1.3	Questões Motivadoras	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	Poluentes Atmosféricos e Transportes	18
3.1.1	<i>Poluição Atmosférica</i>	19
3.1.2	<i>Emissões do ciclo Diesel</i>	20
3.1.3	<i>Legislação Ambiental</i>	22
3.2	Ciclo de Condução	24
3.2.1	<i>Histórico</i>	25
3.2.2	<i>Métodos de Construção</i>	31
3.2.3	<i>Ciclos de Condução Reais</i>	33
4	METODOLOGIA	34
4.1	Obtenção de dados de condução	34
4.1.1	<i>Local de estudo</i>	34
4.1.2	<i>Veículo experimental</i>	35
4.1.3	<i>Equipamentos e procedimento de coleta</i>	38
4.2	Segmentação do percurso	39
4.3	Análise estatística	40
5	RESULTADOS	42
5.1	Ciclos de Condução	42
5.2	Perfis de Emissão	52
6	CONCLUSÕES	59
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	60
	REFERÊNCIAS	61
	APÊNDICE A – CICLOS DE CONDUÇÃO	65

1 INTRODUÇÃO

O planejamento operacional de transportes é peça fundamental para o desenvolvimento e organização das cidades de forma ordenada e sustentável. Com o alto crescimento populacional as cidades vêm se desenvolvendo cada vez mais desordenadamente, desencadeando um efeito de agrupamento de atividades similares ao longo do território que obriga as pessoas a percorrerem cada vez mais trajetos com maiores distâncias para atender às suas necessidades de trabalho, educação, compras, lazer etc. (BRITO *et al.*, 2018).

Como consequência dessa grande quantidade de percursos a serem realizados, têm-se diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. Destaque para emissão de poluentes atmosféricos, dado que o setor de transportes a maior fonte de consumo de energia e de emissões de poluentes em centros urbanos (OLIVEIRA e D'AGOSTO, 2017). Ele corresponde atualmente ao maior contribuinte para as emissões de monóxido de carbono (CO) em grandes cidades, onde a quantidade de emissões aumenta de acordo com o aumento do número de veículos em áreas urbanas (POURESMAEILI, AGHAYAN, TAGHIZADEH, 2018).

Os principais poluentes atmosféricos emitidos por essas fontes são monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂), material particulado (MP) e hidrocarbonetos (HC). Os altos níveis de poluição, com altos níveis de concentração de partículas, por sua vez, podem resultar em diversos problemas de saúde na população, sendo as doenças respiratórias as mais conhecidas (TOLEDO; NARDOCCI, 2011). De acordo com estatísticas da Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 7 milhões de pessoas morrem prematuramente a cada ano devido à poluição do ar (OMS, 2014).

Vários parâmetros relacionados ao tráfego afetam a emissão destes poluentes atmosféricos, incluindo a velocidade, desenho geométrico de rotas, volume, fluxo e ciclos de condução (POURESMAEILI; AGHAYAN; TAGHIZADEH, 2018). Um ciclo de condução é uma série temporal de velocidades de veículos desenvolvida para representarem padrões de condução típicos. Eles são usados intensivamente para estimar emissões de veículos, calcular seu consumo de energia e avaliar impactos do tráfego. Como as características sociais, econômicas e geográficas, as variações nos padrões de direção podem ser significativas para diferentes cidades (ACHOUR; OLABI, 2016). Os ciclos de condução representam comportamentos de direção em uma região específica, sob condições particulares de tráfego, sendo parte fundamental do processo de estimativa de emissões (NOURI; MORENCY, 2017).

Partindo do pressuposto que as especificidades e características próprias de cada

região, bem como intervenções na infraestrutura de transporte resultam em alterações do perfil de condução dos veículos (MACIEL FILHO, 2013), faz-se necessária o estudo mais abrangente sobre estas considerações e dos ciclos de condução.

1.1 Problema de Pesquisa

Diante do exposto o problema central desse estudo está relacionado com a problemática da poluição atmosférica originada dos transportes; lacuna na literatura em relação ao uso dos ciclos de condução para a análise das emissões de poluentes em corredores viários, bem como os fatores na infraestrutura viária que influenciam nos padrões de condução veicular, e conseqüentemente na emissão de poluentes.

1.2 Justificativa

Problemas na qualidade do ar assim como outros efeitos negativos ao meio ambiente são característicos de grandes centros urbanos, principalmente em países em desenvolvimento, como o Brasil, já que estes, por se desenvolverem tardiamente e de forma abrupta, acabam por passar por uma urbanização sem prévio planejamento, na área de transportes, um dos principais fatores causadores dos problemas ambientais é o espraiamento urbano, fenômeno de expansão horizontal das cidades que ocorre devido ao surgimento de novas áreas urbanizadas em regiões mais distantes do centro ou em áreas metropolitanas, que acarretam no aumento das distâncias e diminui acessibilidades o que, em uma sociedade fundamentada na utilização do transporte individual motorizado, como a brasileira, agrava o fluxo veicular na cidade.

Como mostram diversos estudos o fluxo veicular em excesso em áreas urbanas tem ocasionado impactos negativos para as cidades, destacando-se os sociais, financeiros, econômicos e ambientais, sendo os mais facilmente percebíveis: a emissão de poluentes; a influência na redução da capacidade e da velocidade média viária; aumento do número e tempos de paradas; aumento da duração das atividades de carga e descarga; competitividade por áreas de carga e descarga; competitividade por áreas de estacionamento; atrasos durante a viagem; previsão inadequada da demanda; a distribuição espacial das atividades ; dentre outros.

O conhecimento insuficiente sobre a problemática em questão estimula a adoção de alternativas inconsistentes no pouco planejamento público voltados às atividades de

circulação viária, provocando conseqüentemente a ineficiência e agravamento dos efeitos nocivos sobre o ambiente urbano.

Os ciclos de condução, ao serem essenciais nas estimativas de emissões e na representação do tráfego local, pode vir a tornar-se aliado nos estudos referentes ao planejamento operacional de transportes. Diante de tal realidade e pela falta de metodologias adequadas as soluções de tais problemas de forma sustentável, é imprescindível o estudo mais aprofundado sobre ferramentas como os ciclos de condução provenientes de segmentos de corredores viários. Logo, dentro dessa problemática, foi motivado o estudo da relação entre emissão de poluentes e a infraestrutura de transportes através dos ciclos de condução.

1.4 Questões Motivadoras

As questões que motivaram o desenvolvimento deste trabalho são:

- a) É possível determinar padrões nos ciclos de condução construídos?
- b) Quais padrões podem ser observados?
- c) Que fatores podem impactar nas variações dos ciclos de condução?
- d) Como essas variações são refletidas no perfil de emissões?
- e) De que maneira aspectos do ambiente construído interferem nas variações dos ciclos de condução e conseqüentemente nas emissões de poluentes?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste em analisar ciclos de condução de segmentos viários e compreender suas características.

2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar e identificar padrões para ciclos de condução;
- b) Identificar fatores que impactam nas variações dos ciclos e como influenciam no perfil de emissão;
- c) Compreender como aspectos locais interferem nas variações dos ciclos de condução e na emissão de poluentes;

3 REVISÃO DA LITERATURA

Uma vez que o desenvolvimento das cidades decorre a partir das dinâmicas da vida humana, elas se tornam locais que possuem uma concentração de atividades econômicas mais alta e que sofrem com a amplificação das necessidades de movimento de pessoas e cargas, onde percebe-se a relação das atividades realizadas nas cidades e seus padrões de tráfego com a poluição atmosférica acarretada (TIWARE, 2002). Esse fato torna a emissão de poluente como peça-chave para o desenvolvimento de planejamentos operacionais de trânsito de forma a reduzir a poluição atmosférica gerada por veículos automotores, sendo os ciclos de condução parâmetros essenciais nas estimativas de emissões e na representação do tráfego local, é necessário que se entenda seus conceitos para seu estudo.

As seções que seguem tratam de forma geral de cada um desses dois fatores: Poluentes atmosféricos emitidos por veículos e ciclos de condução.

3.1 Poluentes Atmosféricos e Transportes

O transporte de pessoas e mercadorias sempre esteve associado à geração de alguma forma de poluição, seja ela atmosférica, sonora ou pela intrusão visual nos centros urbanos, tal fato torna-se alarmante diante da crescente necessidade da sociedade por opções mais sustentáveis em contraste com a forte relação de dependência da economia brasileira com o setor de transportes rodoviário, que dentre as opções de transporte é o que possui os maiores índices de consumo de combustível por tonelada transportada. Tal fato impacta diretamente na poluição atmosférica nos grandes centros urbanos, já que motores automotivos, devido a queima incompleta do combustível no motor, falta ou excesso de ar da mistura, são responsáveis por uma parcela considerável das emissões de poluentes na atmosfera (OLIVEIRA, 2012).

Atualmente, o setor de transportes é um dos pilares da economia brasileira sendo responsável por cerca de 12 % do PIB (Produto Interno Bruto) do país e recordista mundial na emissão de gases do efeito estufa com cerca de 25% das emissões segundo relatório apresentado na 24ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 24), em Katowice, Polônia, elaborado por mais de 40 organizações internacionais que atuam em prol de transportes sustentáveis e de baixo carbono. Ainda de acordo com o relatório as emissões provocadas pelos transportes cresceram de 5,8 gigatoneladas de CO₂ em 2000 para 7,5 gigatoneladas em 2016, volume 29% maior.

Outros fatores como o aumento da motorização individual, em consequência da ineficiência dos transportes coletivos, o crescimento da população e a falta de estrutura dos sistemas viários para atendimento das demandas de trânsito, agravam o processo de saturação das vias de tráfego dos centros urbanos (SANTOS, 2016) e, conseqüentemente, contribuem para o maior volume de emissões em grandes cidades.

Além da quantidade, outros fatores relacionados a veículos automotores como a idade da frota, cujos veículos não dispunham de sistemas de controle de poluição, manutenção inadequada dos motores, deterioração e adulteração dos sistemas de escapamentos podem vir a acarretar níveis de poluição superiores aos padrões aceitáveis na emissão de poluentes (DUTRA *et al.*, 2004).

3.1.1 Poluição Atmosférica

A poluição atmosférica é definida como a presença de qualquer substância que, devido a sua concentração, possa tornar-se nociva à saúde e ao meio ambiente. As principais fontes de poluição do ar, em geral, estão relacionadas aos processos de combustão, seja industrial, automotiva ou da matéria orgânica (BARTRA *et al.*, 2007), podendo estar presente em diversas formas, principalmente como partículas sólidas e/ou gases (CONAMA 03/90).

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados em dois tipos: os primários são emitidos diretamente pelas fontes poluidoras sendo submetidos a processos complexos de transporte, mistura e transformação química após sua emissão para a atmosfera, fato que permite uma distribuição variável das suas concentrações na atmosfera tanto no tempo como no espaço (DRUMM *et al.*, 2014); e os secundários que se originam a partir de transformações e reações fotoquímicas sofridas pelos poluentes primários na baixa atmosfera, ocorrendo à medida que massas de ar se deslocam e que por tal motivo comumente apresentam concentrações elevadas em áreas mais afastadas das fontes de emissões que os poluentes primários (LOUREIRO, 2005), um exemplo desse tipo é o ozônio, criado a partir de reações entre óxidos de nitrogênio, oxigênio e hidrocarbonetos na presença de luz solar, que ao ser encontrado na baixa atmosfera, pode prejudicar o trato respiratório, causar inflamações nos olhos e até prejudicar permanentemente os pulmões (GUARIEIRO, 2011).

Dentre os impactos negativos que podem ser causados pela poluição atmosférica destacam-se a contribuição para o efeito estufa e para o desenvolvimento de problemas de saúde diversos como alergias no trato respiratório, bronquite, asma, hipertensão e cânceres de pulmão e bexiga (IARC, 2004).

Os principais poluentes encontrados nas emissões pela queima de combustíveis fósseis são o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SO_x), álcoois, aldeídos, hidrocarbonetos (HC), ácidos orgânicos e materiais particulados (DIAS, 2014).

3.1.2 Emissões do ciclo Diesel

Todos os tipos de veículos automotores emitem poluentes que comprometem a qualidade do ar, porém o tipo de combustível utilizado por esses veículos determina maior ou menor concentração de diferentes poluentes, os quais exercem efeitos adversos à saúde de maneira diferenciada (HABERMANN *et al.*, 2011).

Os ciclos termodinâmicos classificam os motores em ciclo Otto, nos quais a injeção do combustível é normalmente indireta e a ignição se dá por meio da centelha gerada pela vela, que inicia o processo de combustão, e em ciclo Diesel, no qual o processo de combustão ocorre por meio da compressão e conseqüente aquecimento do ar de admissão, seguida da injeção direta do combustível líquido pulverizado na câmara (LIMA, 2007).

Os veículos transportadores de carga são, em sua maioria, movidos a diesel e apresentam emissões particulares de poluentes deste tipo de combustível. Dentre tais, os principais compostos provenientes destes veículos são: (i) óxidos de carbono, em especial o monóxido e o dióxido; (ii) óxidos de nitrogênio; (iii) hidrocarbonetos; (iv) materiais particulados e (v) óxidos de enxofre.

O monóxido de carbono (CO) é um gás proveniente de combustões incompletas em veículos automotores, incolor e inodoro. Tendo em vista sua afinidade com a hemoglobina presente no sangue apresenta grande toxicidade ao ser humano (GUIMARÃES, 2011). Em grandes concentrações pode aumentar o risco de doenças cardiovasculares e impedir as funções psicomotoras a longo prazo, os sintomas mais comumente apresentados são dores de cabeça e no peito, náuseas, vômitos e tonturas.

O dióxido de carbono (CO₂) é o principal produto da combustão completa de motores movidos a combustíveis fósseis, e apesar de não ser considerado como um poluente, é o gás causador do efeito estufa contribuindo em grande parcela para o aquecimento global (DIAS, 2014).

O monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) são os principais compostos de óxidos de nitrogênio emitidos por veículos, apresentando uma proporção de aproximadamente 95% para NO (DIAS, 2014). Esses gases são formados quando o nitrogênio

reage com o oxigênio em razão da alta temperatura na câmara de combustão, podem provocar desconforto respiratório, diminuição da resistência a infecções e alterações celulares (ARIOTTI, 2010). São considerados também nocivos ao meio ambiente, devido ao favorecimento na formação de ozônio troposférico, chuvas ácidas e smog fotoquímico.

Os hidrocarbonetos (H_xC_y), por sua reatividade, são comumente tratados como Compostos Orgânicos Voláteis (COV), podem ser definidos como o resultado da combustão incompleta ou evaporação de combustível, sendo ocasionados pela falta de oxigênio (O_2) no ambiente e durante as desacelerações, quando o combustível é emitido sem queimar (AZEVEDO, 2019). Os hidrocarbonetos ainda contribuem para a produção da fumaça fotoquímica, que ocorre quando reage com óxidos nitrogenados (NO_x) na presença de luz solar. Seu principal produto é o ozônio troposférico ou de nível do solo, trazendo prejuízos para a saúde e para o efeito estufa.

Hidrocarbonetos como os BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) são os principais VOC decorrentes de emissões evaporativas. Alguns hidrocarbonetos, como o benzeno e o benzo(a)pireno, estão diretamente relacionados ao câncer de pulmão e de bexiga (RAVINDRA *et al.*, 2008).

O material particulado pode ser definido como um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho (JUNIOR *et al.* 2013), sendo um dos principais transportadores de poluentes para o organismo humano, visto que possui uma composição bastante complexa, pode conter centenas de compostos orgânicos (e.g. hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, aldeídos, cetonas, dioxinas, furanos) e inorgânicos (e.g. ânions, metais), sendo alguns bastante tóxicos e até cancerígenos (AZIMI *et al.*, 2005; BRUNETTI, 2012 b). As partículas provenientes de veículos de motor a diesel, são maiores, em massa, que as dos motores a gasolina e as de maiores dimensões resultam da combustão incompleta das gotas de combustível líquido, perto do injetor de combustível (DIAS, 2014).

Os óxidos de enxofre (SO_x) além de serem precursores da formação de material particulado secundário, tendo principal complicação para a saúde humana relacionada ao agravamento de sintomas de asma e edemas pulmonares, também é um agravante para a formação de chuvas ácidas. É formado principalmente na queima de combustíveis fósseis que contém enxofre, como no diesel que segundo a legislação vigente no Brasil, possui de 10 a 50 ppm de enxofre em sua composição (Diesel S10 e S50).

3.1.3 Normas de Emissões

Diante da necessidade de melhorar a qualidade do ar visto todos os malefícios tragos pelas emissões veiculares, diversas inovações de tecnologias ambientais foram geradas nos países desenvolvidos e difundidas para outros países. Segundo Brito (2005) desde a década de 1980, o Brasil tem recebido diversas tecnologias para a redução dos gases tóxicos, mas quatro foram as iniciativas que acumularam maior índice de resultados positivos: a evolução tecnológica na composição de combustíveis; a substituição do carburador pela injeção eletrônica no sistema de alimentação; a exigência da instalação de catalisador no sistema de escapamento e em especial a especificação e restrição progressiva da legislação ambiental. A Tabela 01 apresenta algumas das tecnologias ambientais para a redução de emissões tóxicas automotivas.

Tabela 01 – Inovações incrementais para redução e controle de emissões tóxicas automotivas.

Tecnologias	Definições e indicadores
Dispositivos de dosagem ar/ combustível	Ajuste de marcha lenta; adiciona pequena quantidade de combustível secundário; dispositivo de alta pressão de gasolina; adiciona ar secundário à mistura.
Tecnologias para injeção de combustível	Injeção eletrônica de combustível; bomba injetora; injetor sequenciado por distribuidor; injeção de antidetonante, dispositivo para ajuste de pressão ou volume; dispositivos para aquecimento; para refrigeração/aquecimento ou isolamento; dispositivos com duto de combustível ou ventilação; injetores combinados a outros dispositivos; dispositivos de injeção de combustível de baixa pressão.
Catalisadores e outros dispositivos pós-combustão	Dispositivos de purificação; inoculação ou tratamento de exaustão; conversão catalítica de componentes nocivos da exaustão; regeneração ou reciclagem de reagentes; catalisador de óxido de metal ou hidróxidos; grupo de metais de platina.
Sistema de ventilação positiva do cárter	Dispositivo de ventilação purificando o ar após saída do cárter (p. ex., retirada do óleo).
Válvula de recirculação dos gases de exaustão	Dispositivo de exaustão combinado com dispositivo de rendimento de energia de escapamento.
Sistemas de diagnóstico a bordo	Controle eletrônico de combustão; controle eletrônico de fornecimento de mistura de combustível; controle eletrônico combinado de duas ou mais funções; dispositivo de injeção de combustível por controle eletrônico; controle eletrônico de tratamento de gás de escapamento.
Sensores de oxigênio, NOx e temperatura	Monitoramento de dispositivo para tratamento de gás de escapamento; controle de correção por ciclo fechado.

Fonte: Adaptado de Dechezleprêtre, Neumayer e Perkins (2015).

A primeira legislação ambiental no Brasil que visava estabelecer padrões de qualidade do ar foi a resolução CONAMA 18/1986, que estabeleceu uma política de controle de emissões de longo prazo, com exigências determinadas por fases, para que os diversos segmentos públicos e privados pudessem contar com tempo para incorporar as ações e tecnologias necessárias para a redução das emissões, instituindo então uma norma de

emissões, denominada por sete fases do chamado PROCONVE (Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos automotores), aplicáveis a todos os veículos o transporte de individual, de passageiros e de cargas, independentemente do tipo de combustível.

Atualmente o PROCONVE se encontra na fase L-6 e P-7, segundo a Resolução CONAMA 403/2008, com implementação a partir de 2012, enquanto a resolução CONAMA 491/2018 é a em vigor no país e estabelece a implementação das novas fases do PROCONVE L-7 e P-8 a partir de 2022. A Tabela 02 apresenta limites máximo de emissões de veículos leves comerciais da fase L-6.

Tabela 02 – Limites de emissões PROCONVE para veículos comerciais leves com massa superior a 1700 kg.

Poluentes	Limites Fase F-6	Poluentes	Limites Fase F-6
Monóxido de carbono (CO em g/km)	2	Material particulado (2) (MP em g/km)	0,04
Hidrocarbonetos (THC em g/km)	0,5(1)	Aldeídos (1) (CHO em g/km)	0,03
Hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	0,06	Emissão evaporativa (1) (g/ensaio)	1,5
Óxidos de nitrogênio (NOx em g/km)	0,25(2) ou 0,35(3)	Emissão de gás no cárter	nula

(1) Aplicável somente a veículos movidos a GNV;

(2) Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol;

(3) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel.

Fonte: Adaptado do Ministério do Meio Ambiente (2011).

As novas fases L7 e P8 tem como objetivo principal a redução significativa dos vapores de combustíveis que se perdem na atmosfera e das emissões dos óxidos de nitrogênio, respectivamente. Estas duas ações se complementam e devem ajudar na redução da formação dos compostos de oxidação na atmosfera dos grandes centros urbanos, sobretudo o gás ozônio.

A resolução CONAMA vigente no país é baseada na norma europeia Euro V, com ensaios de medição para os poluentes monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e material particulado no gás de escapamento de motores. Eles são utilizados para testes e homologação de emissões em motores pesados conforme os métodos e procedimentos estabelecidos para o Ciclo de Regime Constante (ESC), o Ciclo Europeu de Resposta em Carga (ELR) e o Ciclo de Regime Transiente (ETC) da Diretiva 1999/96 do Parlamento

Europeu e do Conselho, de 13 de dezembro de 1999 (EURO V).

Tais procedimentos e métodos são chamados de ciclos de testes de motores e retratam, em teoria, padrões de condução reais e os níveis de emissão associados a estes através da simulação de uma sequência de modos de operação definidos por diferentes condições de carregamento e velocidades do motor, alguns consideram até mesmo mudanças no modo de operação ao capturar diferentes padrões de condução, tais como o urbano, o rural e o rodoviário (MACIEL FILHO, 2013).

Para a realização de ensaios de motores são usados dinamômetros de motor, equipamentos que simulam a potência resistiva imposta às rodas de um veículo, capazes de aplicar velocidade e carga controladas para fins de medição de um motor ou veículo em termos de torque, potência, simulação de movimento, entre outros (AZEVEDO, 2019).

Durante os ensaios são registrados os parâmetros de motor: rotação, torque, temperatura, umidade e restrição do ar de admissão, temperatura e contrapressão e exaustão, fluxo de combustível, fluxo de gás de exaustão, temperatura do ar e temperatura do combustível (ABNT, 2012b).

Os métodos padronizados de certificação de veículos pesados para emissões são baseados somente em testes de motores. Entretanto, como observado por Maciel Filho (2013), esses métodos possuem diversas limitações: (i) os testes de motores não contam com as características do veículo (peso, trem de força, estrutura da carroceria, etc); (ii) o teste de motor não é ideal para avaliação da utilização de um veículo; e, (iii) a remoção do motor de um veículo é bastante trabalhosa e (iv) os modelos mais modernos estão atrelados a sistemas eletrônicos cada vez mais complexos oriundos do veículo completo e não só do trem de força.

Aliados aos testes de motores existem os chamados ciclos de condução, que são utilizados como padrão para avaliação veicular em veículos de passeio e comerciais leves, são utilizados em diversos países e será abordado com mais ênfase no tópico seguinte.

3.2 Ciclos de Condução

Segundo Nesamani e Subramanian (2011) um ciclo de condução é uma sequência de condições de operação (marcha lenta, aceleração, cruzeiro e desaceleração), desenvolvida para representar um padrão típico de condução em uma região, possuindo uma ampla gama de usos desde a concepção de sistemas de controle de tráfego até a estimativas e medições de emissões (LAI et al, 2013). Conforme a recomendação da norma SAE J2711 (2002) os ciclos de condução também podem ser utilizados para medir o consumo de combustível.

O conceito base da utilização desse tipo de teste está no maior alcance das faixas de operação do motor, não apenas testando pontos isolados como máximo torque ou máxima potência (GIAKOUMIS, 2017).

Ele é composto por um conjunto de parâmetros, como velocidade, aceleração, distância, duração e frequência das partidas e paradas, com objetivo de simular um padrão de condução próximo da realidade. Buscando reproduzir ao máximo as condições locais de tráfego e comportamentos de condução específicos, diversos ciclos de condução têm sido desenvolvidos em vários países (MARTINS, 2005; BARLOW et al., 2009).

Os ciclos de condução têm durações variáveis que vão de um ou dois minutos até mais trinta minutos, normalmente apresentada de segundo a segundo. A realização do ensaio ocorre de forma semelhante aos ciclos de motores, mas enquanto este é feito utilizando um dinamômetro de motor os ensaios de ciclos de condução são comumente testados em dinamômetros de chassi (veículos completos). A coleta desses poluentes geralmente é feita por meio de bombas de sucção e fixados em filtros e sacos coletores de gases (bags) específicos para posteriores análises em laboratório (AZEVEDO, 2019).

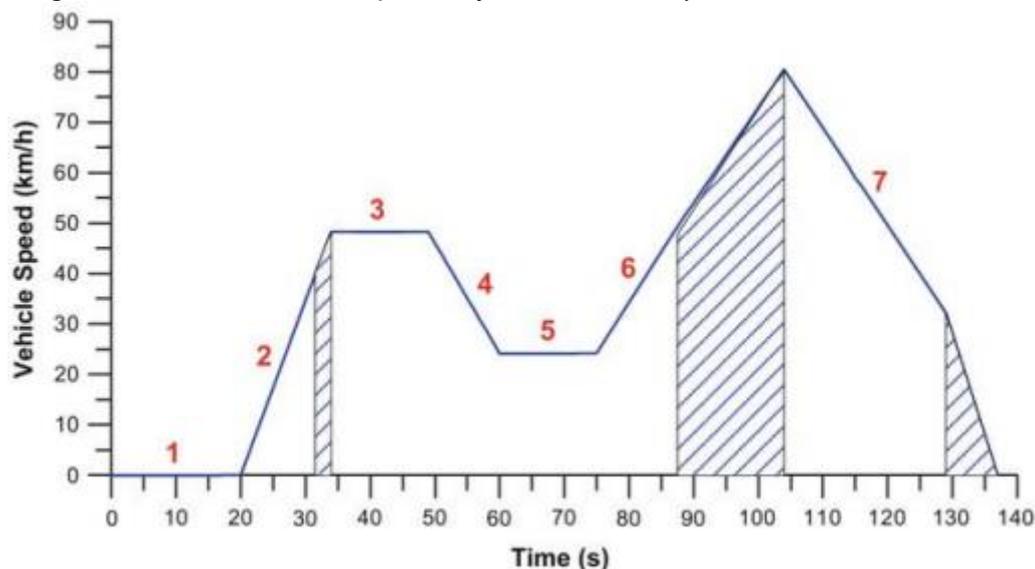
Existem dois tipos de ciclos de condução, os ciclos modais, como o Europeu NEDC (*New European Drive Cycle*) e o Japonês 10-15 *Mode*, que podem ser descritos como uma compilação de aceleração em linha reta e de períodos de velocidade constante, não sendo representativos ao comportamento de condução real, e os ciclos transientes, tais como o FTP-75 ou o ciclo ARTEMIS que se diferenciam dos ciclos modais por envolverem muitas variações de velocidade, típicas de condução em estrada.

3.2.1 Histórico

As preocupações com a quantidade de poluentes emitidos por veículos são recentes e só se tornaram de fato motivo de atenção das autoridades quando seus efeitos nocivos atingiram a população de forma visível, tal como ocorreu na Califórnia na década de 50, onde a necessidade de estabelecer legislações restritivas às emissões de poluentes ocorreu com a incidência do fenômeno fotoquímico “smog” (Tipo de poluição atmosférica caracterizado por um nevoeiro contaminado) e pela baixa qualidade do ar como consequência do aumento demasiado da frota veicular no estado. Em pouco tempo, foi desenvolvido o chamado *California 7-mode cycle* (Figura 01), o primeiro ciclo de condução do mundo, sendo utilizado para avaliação veicular para todos os veículos fabricados entre 1966 e 1971 no estado da Califórnia. Sua duração era de 137 segundos, com velocidade média de 41,8 km/h e

máxima de 80 km/h, possuindo segmentos bem definidos de marcha lenta, velocidade de cruzeiro, e acelerações e desacelerações constantes (MAZER, 2020).

Figura 01 – Ciclo de condução *California 7-mode cycle*.



Fonte: Giakoumis (2017).

As regiões preenchidas abaixo da curva de velocidade do ciclo (Figura 01) representam os momentos, durante o teste, em que os dados não são considerados.

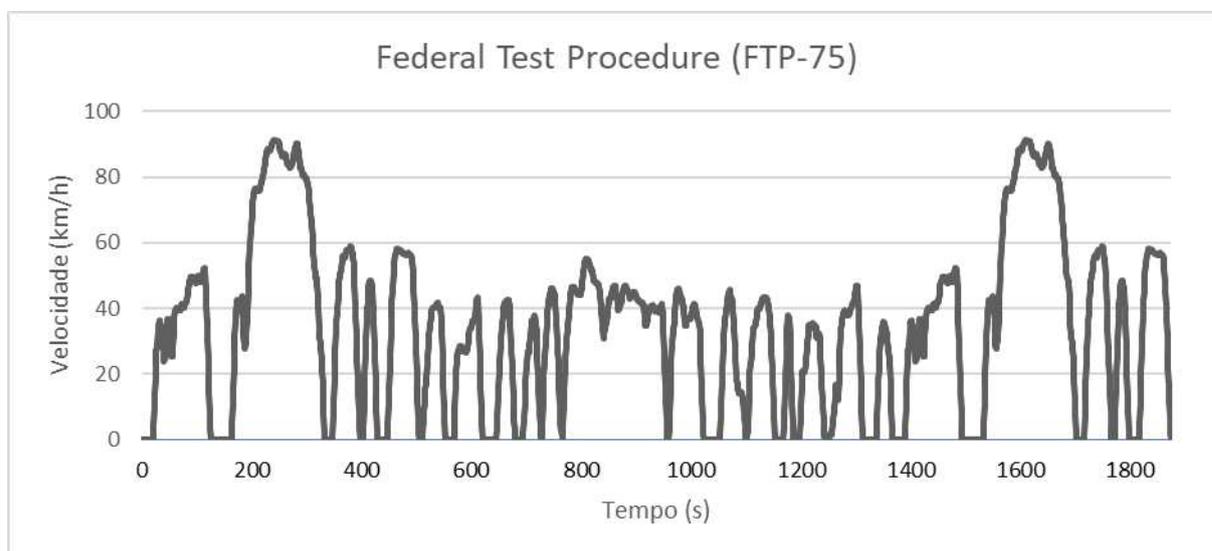
Dessa forma, o estado da Califórnia é considerado o pioneiro na introdução de padrões de emissões obrigatórios para os veículos e no desenvolvimento do primeiro procedimento de medição desses gases poluentes aplicados em um ciclo de condução em um dinamômetro de chassi (BERG, 2003). Entretanto, de acordo com Austin *et al.* (1993) o ciclo desde sua implementação já era considerado deficiente, possuindo diversas limitações como: (i) compreendia apenas sete *modus operandi*, o que sujeitava os fabricantes a aprimorarem apenas essas condições no desenvolvimento dos veículos; (ii) linhas retas no perfil de velocidades não eram condizentes com a performance do veículo e com os reflexos dos motoristas no pedal de aceleração; e (iii) a inerente variação no pedal de aceleração refletia diretamente na razão ar-combustível e, conseqüentemente, na economia de combustível e nas emissões de poluentes.

Diante de limitações do *California 7-mode cycle*, a *US Environmental Protection Agency* (EPA) desenvolveu o ciclo conhecido como *Urban Dynamometer Driving Schedule* (UDDS), mais realista e transiente que o anterior diferenciando-se de uma classificação modal. O UDDS foi desenvolvido com base em um percurso real na cidade de Los Angeles, com adaptações quanto a extensão, acelerações e desacelerações devido às limitações técnicas

existentes, mas mantendo características da rota e suas proporções como velocidade média, número de paradas, período de marcha lenta etc., sendo o primeiro ciclo de condução padrão utilizado na certificação veicular que empregou o método de análise de poluentes por diluição dos gases da exaustão para análise posterior em bolsas separadas de amostras e, a partir do ano de 1973, passou a contemplar a medição de óxidos nitrosos (NO_x) através da tecnologia de quimiluminescência (GIAKOUMIS, 2017).

A partir do ano de 1972 o ciclo UDDS foi adotado no EUA como ciclo de condução padrão para veículos de passageiros e caminhões leves e por isso também ficou conhecido como FTP-72. O ciclo FTP-72 apresenta duração de quase 23 minutos, distância total percorrida de 11,9 km, velocidade média de 36,6 km/h e máxima de 91,15 km/h, possuindo duas fases distintas a *Cold Phase* e a *Stabilization phase*, de acordo com a temperatura de estabilização do motor (BARLOW *et al.*, 2009). Posteriormente, uma variação do FTP-72 com a adição de uma “terceira fase” foi implementada na legislação a partir do ano de 1975, o denominado FTP-75 (Figura 02), adotado atualmente no Brasil para determinação das emissões em veículos leves e comerciais leves.

Figura 02 - Ciclo de condução FTP-75.



Fonte: Elaborado pela Autor.

O FTP-75 possui duração de 1.877 segundos, com 17,77 km de extensão, velocidade máxima de 91,25 km/h, velocidade média de 34,12 km/h, aceleração máxima de 1,48 m/s² e média de 0,20 m/s².

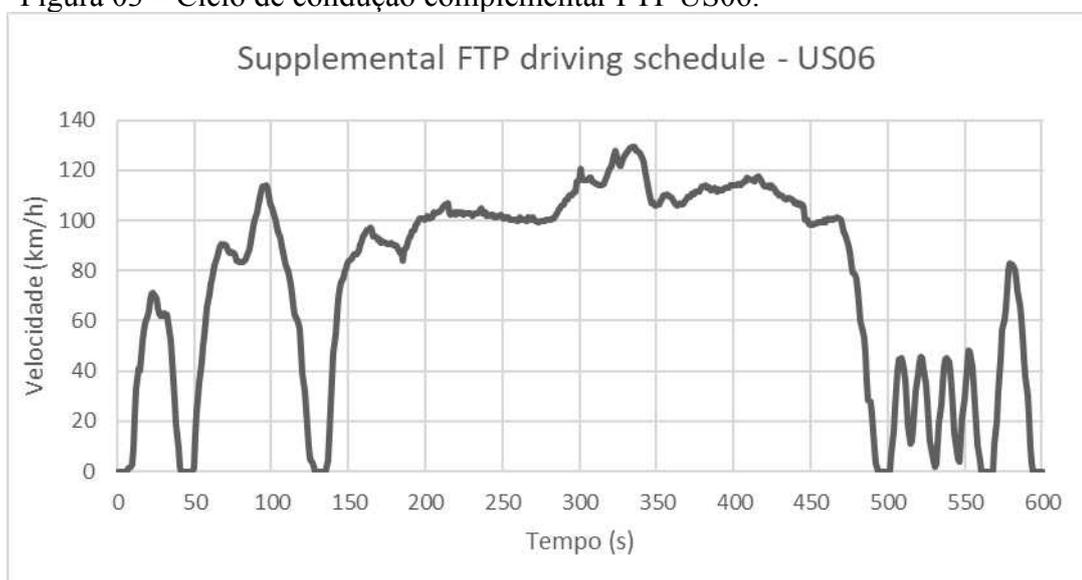
Apesar de ser aperfeiçoado com relação aos seus antecessores, o FTP-75 ainda apresenta deficiências, visando abranger todos as condições de tráfego a EPA vem

regulamentando testes adicionais aos veículos leves, como o *Supplemental Federal Test Procedure* (SFTP), para aplicar altas velocidades (de até 130 km/h) e altas acelerações e, ainda, o ciclo *Highway Fuel Economy Test* (HWFET) para avaliar o desempenho do veículo em rodovias (TUTUIANU *et al.*, 2013)

A partir do ano de 2008, nos EUA, para certificação de emissão os modelos do ano 2000 em diante, além de atenderem aos padrões de emissão FTP-75, os veículos devem ser testados adicionalmente em dois testes SFTP, projetados para resolver as deficiências do FTP-75 na representação de direção agressiva em alta velocidade (US06) e uso de ar condicionado (SC03) e no teste *cold temperature FTP procedure*, no qual o ciclo UDDS é realizado a cerca de -6 °C para ponderar o desempenho dos veículos em condições de baixas temperaturas.

O FTP US06, representado na Figura 03, aborda as deficiências do ciclo FTP-75 na representação de comportamento de direção agressivo, de alta velocidade e / ou alta aceleração, flutuações de velocidade rápida e comportamento de direção após a inicialização. Este ciclo possui duração de 596 segundos, com uma rota de 12,8 km, atinge uma velocidade máxima de 129,2 km/h e média de 77,9 km/h.

Figura 03 – Ciclo de condução complementar FTP US06.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

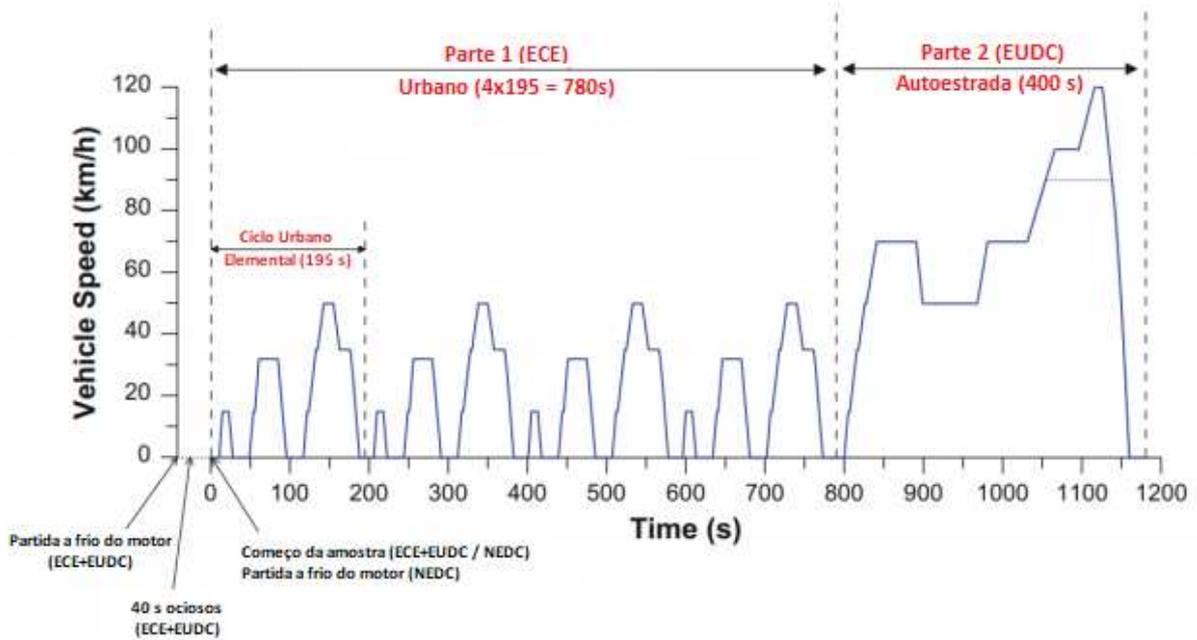
No Brasil o ensaio é realizado de acordo com a Norma Brasileira NBR 6601 (NBR 6601, 2012) de forma segmentada em duas etapas. Primeiro, são realizadas as duas primeiras fases do FTP-75 (*cold start* e *stabilized phase*) com o veículo “frio”, após o término das duas primeiras fases o veículo é desligado por 10 minutos e passa pela última fase com o

“motor quente”. Já para se estimar o consumo de combustível dos veículos leves, a legislação prevê dois valores de consumo de combustível: o urbano, estimado de acordo com o desempenho do ciclo FTP-75 (*cold start + stabilized phase + hot start*) e de estrada, estimado a partir do ciclo HWFET (ABNT NBR 7024 2017, 2017).

Na Europa, a primeira restrição ao limite de poluentes ocorreu na década de 70, implementada pela *European Economic Community* (EEC), estabeleceu limite limites para hidrocarbonetos não queimados e monóxido de carbono (CO), e em seguida desenvolveu o primeiro ciclo de condução padrão europeu, o ECE-15, conhecido também como *Urban Driving Cycle* (BERG, 2003). Desenvolvido em condições que representassem cidades típicas da Europa. O ciclo do tipo modal, compreendia 15 modos de operação, apresentando, no total, 13 min de duração, 4052 m de distância e com velocidades máxima e média de 50 km/h e 18,7 km/h, respectivamente (TZIRAKIS et al., 2013).

Devido à baixa velocidade apresentada no ciclo ECE-15, em 1991 uma nova fase de operação foi adicionada ao ciclo, denominada *Extra Urban Driving Cycle* (EUDC), sendo responsável por representar condições nas estradas com velocidades de até 120 km/h. A partir de 2000 os procedimentos de certificação veicular exigiram a medição dos gases poluentes de teor imediato, o que ocasionou a adoção do NEDC como ciclo de condução padrão na Europa, no qual as medições passaram a ser aplicadas a partir da partida veículo, com tempo de duração de pouco mais de 19 minutos, velocidade média de 42,24 km/h e máxima de 120,09 km/h (BARLOW et al., 2009). A Figura 04, apresenta a comparação entre os ciclos europeus NEDC e ECE com adição da fase EUDC.

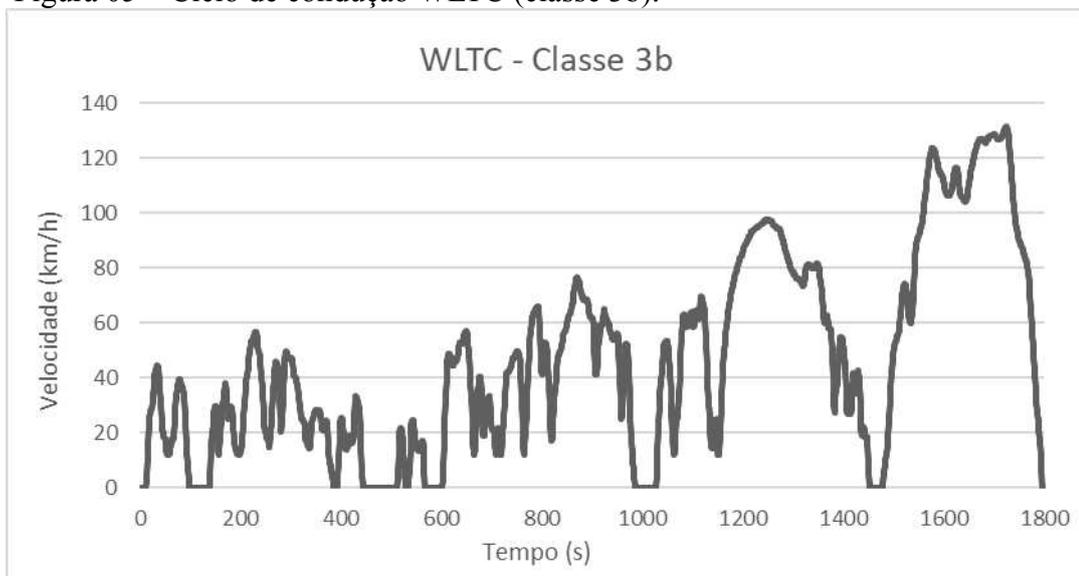
Figura 04 - Comparação entre os ciclos de condução NEDC e ECE+EUDC.



Fonte: Adaptado de Giakoumis (2017).

Diante das limitações apresentadas pelo ciclo NEDC, como a negligência a diversos pontos de operação do motor, as acelerações não condizentes com a realidade e as linhas retas no perfil de velocidades que não representam o comportamento dos motoristas, o ciclo recentemente foi substituído pelo ciclo *Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Cycle* (WLTC), apresentado na Figura 05, válido a partir do ano de 2019, na Europa.

Figura 05 – Ciclo de condução WLTC (classe 3b).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Desenvolvido com o objetivo representar dados de condução reais de tráfego obtidos no mundo todo, através de uma base de dados unificada com quase 765.000 km de dados, o WLTC possui três ciclos de condução para três categorias de veículos leves baseados na razão de potência e peso (W/kg) e velocidade máxima do veículo, apresentados na Tabela 03. Os ciclos são compostos por quatro fases: *low*, *medium*, *high* e *extra-high*, possuindo, ao todo, 1800 segundos de duração, sendo, 589 s na fase *low*, 433 s na fase *medium*, 455 s na fase *high* e 323 na fase *extra-high* (MAZER, 2019).

Tabela 03 – Classificação do ciclo WLTC para veículos leves.

	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

Fonte: Elaborada pelo Autor.

A inclusão do ciclo WLTC na Europa, em comparação ao seu antecessor, representa um grande avanço para a avaliação de desempenho de novos veículos, por se tratar de um ciclo mais dinâmico, que incorpora mais comportamentos transientes, cobrindo mais que o dobro da distância do NEDC e apresentando valores maiores de velocidades média e máxima, aceleração máxima e a aceleração positiva relativa (GIAKOUMIS, 2017).

3.2.2 Métodos de construção

Na atualidade ainda não existe uma metodologia universal para ensaios em dinamômetros de chassis para veículos pesados, as metodologias existentes focam em novos tipos de veículos pesados, como, por exemplo, veículos que utilizam novas tecnologias de redução de emissões de gases de escape, trens de força mais modernos e/ou o uso de combustíveis alternativos (AZEVEDO, 2019).

Segundo André (2004) os métodos de construção de ciclos de condução incluem tipicamente as etapas de: (i) coleta de dados de condução, (ii) segmentação dos dados de condução, (iii) construção dos ciclos e (iv) avaliação e seleção do ciclo final.

Dai *et al.* (2008) cita quatro metodologias distintas para a construção dos ciclos de condução, a construção de ciclos por microviagens, por segmentos de viagens, baseada em classificação de padrões e a construção modal de ciclos. Já Lai *et al.* (2012) propôs uma nova metodologia que utiliza o VSP (*Vehicle Specific Power*) para a construção dos ciclos de

condução.

Na construção baseada em microviagens (micro-trips) dados são coletados e divididos em microviagens, definidas como toda a atividade de condução entre paradas sequenciais incluindo o tempo de parada inicial e final. Elas são selecionadas utilizando-se de um de três métodos: (i) seleção aleatória, (ii) método da melhoria incremental, que faz buscas adicionais e acresce ao ciclo as microviagens com características específicas, (iii) e a terceira uma combinação de ambas as tecnologias, com todos os métodos buscando se aproximar da condução observada na prática (AUSTIN *et al.*, 1993), entretanto, a construção baseada em microviagens não diferencia os diversos tipos de condições de condução como o tipo de via ou seu nível de serviço (MACIEL FILHO, 2013).

Na construção por segmentação dos dados condução, os segmentos são obtidos dividindo os perfis de velocidade no tempo de acordo com as paradas, tipo da via ou nível de serviço, possibilitando que iniciem ou terminem em qualquer velocidade. Nela os ciclos de segmentos são selecionados utilizando-se dos mesmos métodos apresentados na construção por microviagens. Sua principal limitação ocorre por ter sido desenvolvida estritamente sob a perspectiva da engenharia de transportes e, conseqüentemente, menos relacionada a emissões (DAI *et al.*, 2008).

Para a construção de ciclos com classificação padronizada, sequências cinemáticas são classificadas usando métodos estatísticos, sendo selecionadas de forma aleatória para serem reconectadas e formar o ciclo de condução. Para Dai *et al.* (2008), apesar de diferenciar as condições cinemáticas de condução, o método não necessariamente diferencia as emissões associadas a essas atividades.

Na construção modal de ciclos, os ciclos de condução são baseados em modos de operação, com a condução sendo vista como uma sequência de modos como aceleração, desaceleração, cruzeiro ou espera. Diferentemente dos outros métodos a construção modal de ciclos possui afinidade com a emissão de transportes visto que diversos estudos demonstram a que as emissões de fontes móveis estão relacionadas com a operação modal dos veículos, além da velocidade média (MACIEL FILHO, 2013).

No método baseado na distribuição VSP, a potência veicular específica, definida como o consumo de energia de um veículo por tonelada transportada, é considerada parâmetro apropriado para auxiliar na construção de ciclos de condução devido a relação próxima entre emissões e o padrão de condução. Sendo considerado uma adaptação da construção baseada em microviagens, considerando o VSP na seleção das microviagens válidas (LAI *et al.*, 2012).

3.2.3 Ciclos de condução reais

Embora sejam diversos e distintos, os ciclos de condução adotados pelos países como padrão para avaliação veicular não conseguem reproduzir as características de condução que se adequem as particularidades de cada localidade e, conseqüentemente, não representam os níveis de emissão associados. Tal fato ocorre devido a cada localidade possuir condições de tráfego únicas, que são influenciadas por fatores locais, como condições climáticas, topografia, volume de tráfego característico etc.

Mediante tal realidade diversos estudos vêm verificando a necessidade de mensurar as emissões dos veículos em condições reais de operação, do inglês *Real Drive Emissions* (RDE).

Buscando sanar as limitações apresentadas pelos ciclos de condução existentes, entraram em vigor na Europa desde 2016, procedimentos que consideram diversos fatores e condições de testes, como aspectos locais, tipos de veículos e motores, grade e até condições climáticas (AZEVEDO, 2019). Durante o teste RDE, como exemplo, o veículo é conduzido em um percurso com ampla variedade de condições. Tais condições incluem: altitudes e temperaturas diferentes, carga suplementar, condução em subidas e em descidas, estradas urbanas (velocidade baixa), estradas rurais (velocidade média) e auto-estradas (velocidade alta).

Nesse contexto alguns autores desenvolveram ciclos de condução reais em diferentes cidades dando foco a diferentes parâmetros. Achour e Olabi (2016), desenvolveram ciclos de condução reais na Irlanda, destacando características do tráfego local; Shen *et al.* (2015) compararam resultados obtidos em ciclos de condução reais com os obtidos em simuladores e em geral para a cidade Beijing, com os resultados observaram que os fatores de emissão encontrados nos simuladores não correspondam com os fatores reais obtidos; já Varella *et al.* (2019) analisaram o efeito da partida a frio, do grade da via e do estilo de condução de dois motoristas nas emissões de CO₂ e NO_x na região metropolitana de Lisboa, Portugal, com os resultados foi identificado que todos aspectos analisados influenciaram significativamente os níveis de emissões.

O foco no comportamento de condução de cada motorista também foi empregado em outros trabalhos como o de Azevedo (2019), que o propôs um método para elaboração de fatores de emissão, em veículos urbanos de carga, considerando perfis de condutores distintos e incorporando os aspectos locais em ciclos de condução reais. Para tal, foi definido o veículo, os tipos de vias, os perfis de condutores e os parâmetros representativos e necessários para a

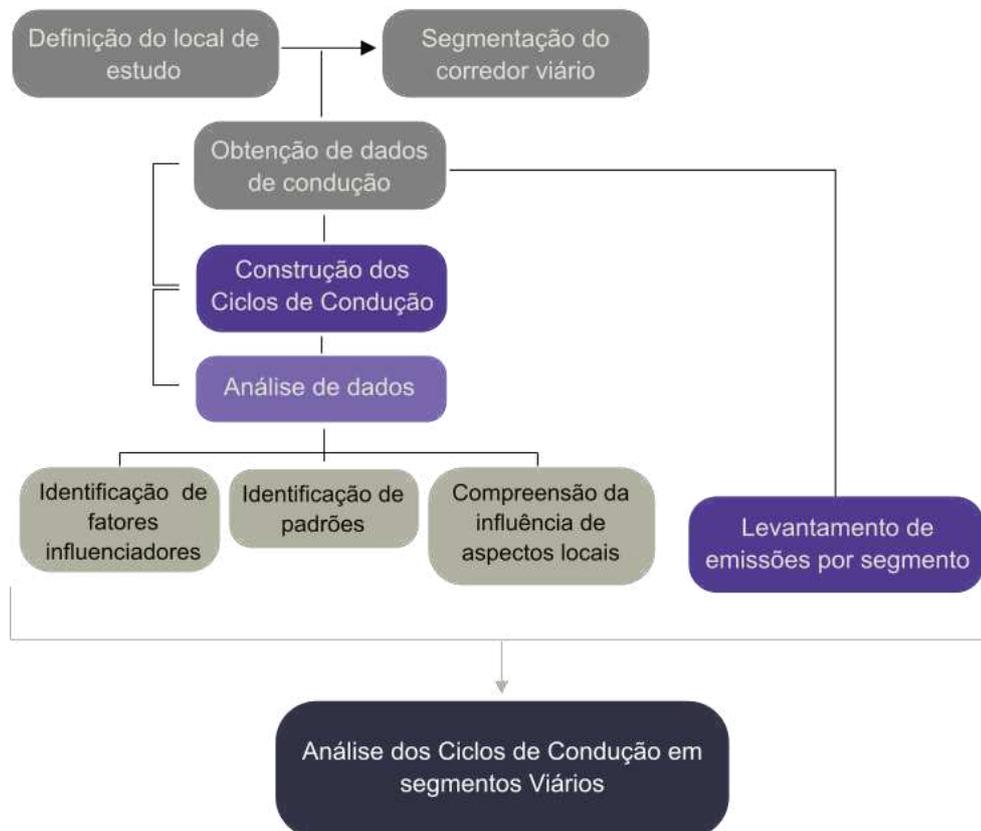
obtenção dos fatores de emissão. Em geral, os resultados mostraram a existência de diferenças significativas na forma de condução entre condutores profissionais e não profissionais e, conseqüentemente, nas emissões de poluentes. Quanto aos aspectos locais, verificou-se que estes interferem no modo de condução.

Esses e outros estudos verificam a necessidade da elaboração de ciclos de condução que atentem mais a aspectos locais influenciando no modo de condução veicular e, conseqüentemente, regulando de maneira mais eficaz os níveis de emissões veiculares.

4 METODOLOGIA

Para a obtenção dos objetivos anteriormente expostos, este Capítulo apresenta a metodologia proposta para o uso de ciclos de construção, identificando seus padrões, variações e fatores influenciadores, a fim de compreendê-los e cuja representação esquemática das fases e etapas está apresentada na Figura 06.

Figura 06 – Método proposto.



Fonte: Elaborado pela autora.

O método ainda engloba o levantamento das emissões associadas aos ciclos construídos a fim de se analisar os efeitos das variações de velocidade na emissão de poluentes pelos veículos.

4.1 Obtenção dos dados de emissões veiculares

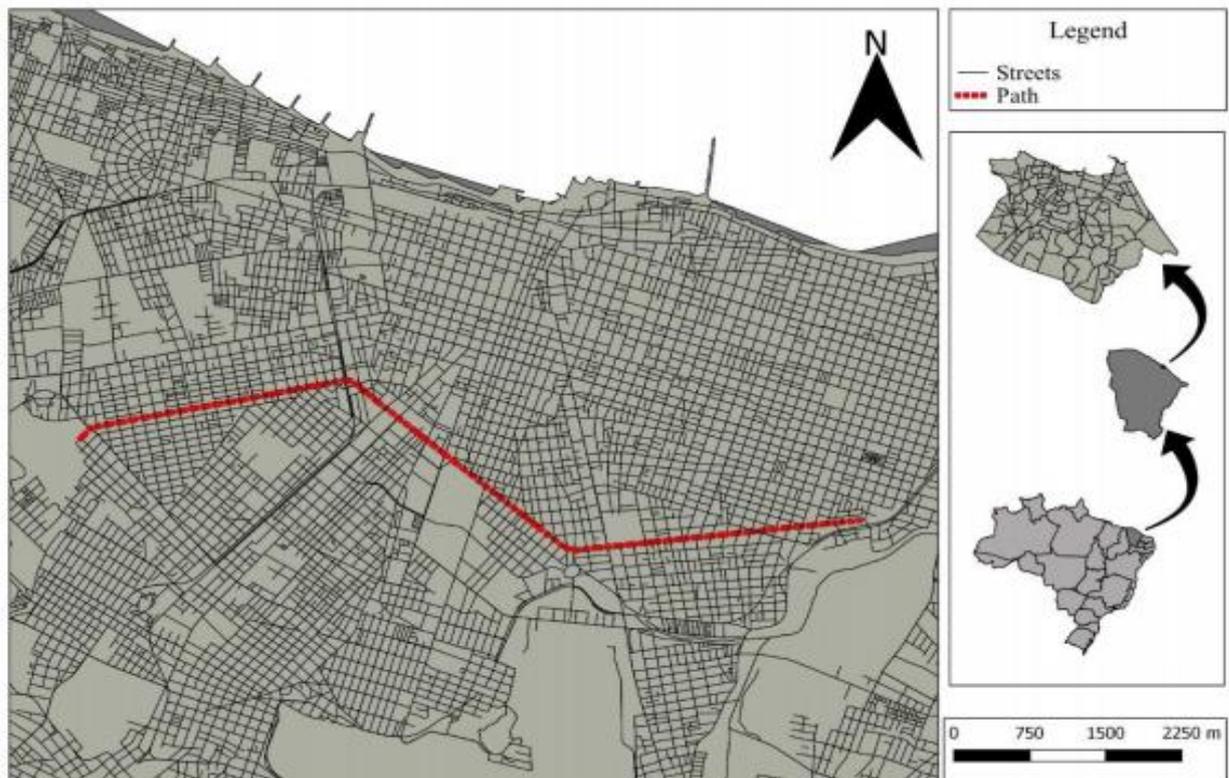
O presente trabalho fará uso de dados experimentais coletados e apresentados no trabalho de Azevedo (2019), cujas condições da coleta realizada serão detalhadas a seguir.

4.1.1 Local de estudo

Azevedo (2019) definiu a área de estudo de forma a representar os tipos de vias mais impactantes no tráfego de Fortaleza e de outros centros urbanos em geral e que possibilitassem a extrapolação para outras regiões da cidade com características semelhantes, foram selecionadas três vias para estudo, sendo uma via coletora e duas arteriais, nas quais é expressivo volume de tráfego, possuem presença significativa de atividades comerciais e predominam o fluxo de passageiros.

A vias escolhidas estão situadas na cidade de Fortaleza, capital do Estado do Ceará, numa região urbana que se caracteriza como polo gerador de tráfego. O percurso é composto pela coletora Avenida Jovita Feitosa, e arteriais do tipo I, Avenidas Treze de Maio e Pontes Vieira, segundo a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Fortaleza (FORTALEZA, 2015), apresentando uma extensão total de 17 km dentre as três vias nos dois sentidos de Oeste-Leste e Leste-Oeste). A Figura 07 apresenta o percurso completo, nos sentidos Oeste-Leste e Leste-Oeste, onde todas as vias têm o limite de velocidade máxima permitida de 60 km/h.

Figura 07 – Percurso para construção do ciclo de condução.



Fonte: Azevedo (2019).

Todas as três vias apresentam o mesmo número de pistas, faixas e presença de canteiro central, mesmo sentido e orientação geográfica na cidade, mesma velocidade máxima permitida, extensões semelhantes etc. A via coletora selecionada ligar as vias locais às vias arteriais também foi outro fator determinante para a seleção. A Tabela 04 a seguir apresenta as principais características das vias selecionadas.

Tabela 04 – Caracterização das vias selecionadas.

Vias	Classificação Funcional	Nº de pistas	Nº de faixas	Canteiro Central	Extensão (km)	Orientação Geográfica	Nº de Semaforos	Uso Residencial (%)	Uso Comercial (%)
Jovita Feitosa	Coletora	2	2	Sim	2,60	Oeste - Leste	8	53,06	28,57
Jovita Feitosa	Coletora	2	2	Sim	2,60	Leste - Oeste	8	50,00	29,90
Treze de Maio	Arterial 1	2	2	Sim	2,90	Oeste - Leste	13	46,09	32,17
Treze de Maio	Arterial 1	2	2	Sim	2,90	Leste - Oeste	13	27,38	53,57
Pontes Vieira	Arterial 1	2	2	Sim	2,40	Oeste - Leste	11	17,57	60,81
Pontes Vieira	Arterial 1	2	2	Sim	2,40	Leste - Oeste	11	7,32	63,41

Fonte: Adaptado de Azevedo (2019).

4.1.2 Veículo experimental

Buscando condições experimentais que mais se equivalessem a realidade, Azevedo (2019) adotou como veículos experimentais o perfil descrito conforme legislação relativas aos chamados Veículos Urbanos de Carga (VUC). Os VUCs possuem uma menor capacidade de carga e menor tamanho aos serem comparados aos veículos de cargas habituais (carretas e caminhões grandes), sua utilização se dá devido a restrições quanto a circulação, estacionamento nas vias e pontos específicos de carga e descarga para veículos de carga, implantadas por diversas capitais e cidades metropolitanas a fim de se diminuir os impactos gerados por esses veículos (AZEVEDO, 2019).

Em Fortaleza, os VUCs são considerados caminhões de menor porte, os quais devem atender limites de comprimento de 7,30m, largura de 2,20m e 4,40m de altura, com peso bruto total máximo de até 10 toneladas definidos pela Portaria No 83 da Autarquia Municipal de Trânsito e de Cidadania, autoridade de trânsito do Município de Fortaleza (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2012). Na cidade estes veículos possuem autorização

municipal para circular em período integral nas áreas com restrição de circulação de caminhões. A Tabela 05 mostra as demais características básicas do padrão do VUC.

Tabela 05 - Características básicas dos VUCs.

Características	VUC 1	VUC 2
Ano/ Modelo	2011	2014
Marca	Hyundai	Foton
Motor	2.5 A2 Diesel (D4CB)	Cummins ISF 2.8 Diesel
Comprimento (m)	4,85	4,80
Largura (m)	1,74	1,82
Altura (m)	2,00	2,20
Combustível (m)	Diesel*	Diesel*
Peso médio com baú (kg)	4.500	4.300
Sistema de transmissão	Manual, 7 marchas, 6 velocidades	Manual de 5 marchas
Sistema de tratamentos dos gases de escape	Catalisador	EGR
Padrão de emissão	Proconve P7/ Euro V	Proconve P7/ Euro V

Fonte: Adaptado de Azevedo (2019). *7% (v/v) de biodiesel

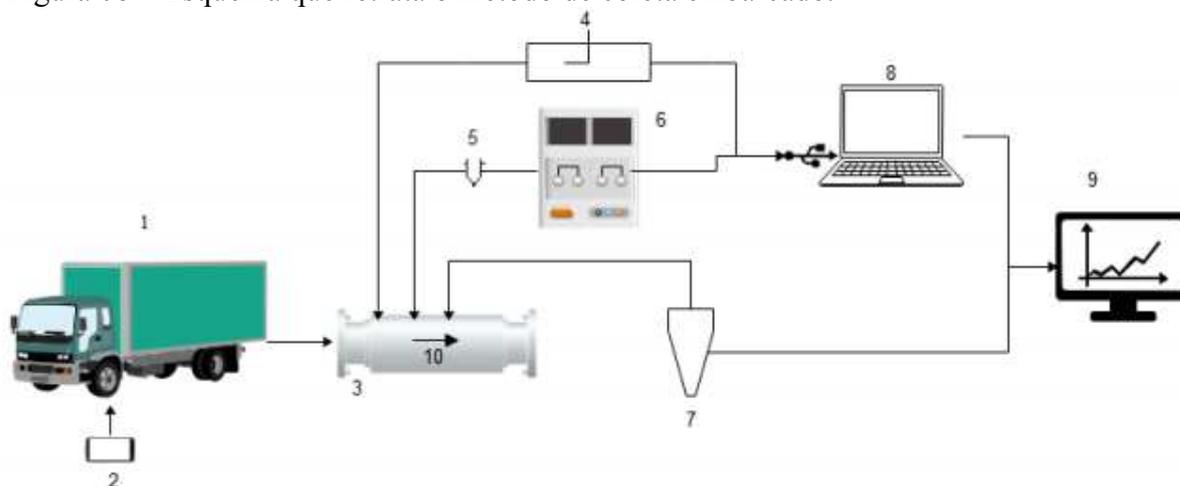
O combustível diesel utilizado passou por uma caracterização físico-química realizada pelo Laboratório de Combustíveis e Lubrificantes do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, de acordo com as Normas Brasileiras Regulamentadoras e as normas internacionais de caracterização, onde apresentou resultados de acordo com as das legislações nacionais e internacionais de qualidade de combustível.

4.1.3 Equipamentos e procedimento de coleta

O conjunto de instrumentos instalados *on-board* no VUC trata-se do OBD-II/ECU, do GPS, do analisador de gases da combustão, do conjunto ciclone e da Sonda Pitot. Esses equipamentos fornecem monitoramento em tempo real durante a condução veicular, o responsável pela coleta dos dados de condução é o dispositivo *On-Board Diagnostic* (OBD), ligado à unidade de controle do motor (ECU) e que fornece continuamente de parâmetros como velocidade, aceleração, rotações do motor etc. e parâmetros da via como localização específica do veículo (latitude, longitude e altitude) e inclinação da via (AZEVEDO, 2019). Esse conjunto de instrumentos é capaz ainda de medir, monitorar e gravar parâmetros de emissões de poluentes oriundos da combustão veicular, como CO₂, CO, NO_x, SO_x, HC e MP; de dinâmica do motor; cinemática veicular e de via (DIAS, 2015).

Todos os dados foram obtidos na frequência de 1 Hz, ajustados e sincronizados em função do tempo. A Figura 08 apresenta um esquema da unidade de monitoramento on-board utilizado na coleta de dados, conforme Cassiano et al. (2016).

Figura 08 – Esquema que retrata o método de coleta embarcado.



LEGENDA

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. Transportador urbano de carga | 6. Analisador de gases da combustão |
| 2. OBD-II e GPS | 7. Ciclone, bomba de vácuo e gasômetro |
| 3. Tudo extensor de escapamento | 8. Computador portátil para aquisição e registro de dados |
| 4. Sonda Pitot | 9. Processamento dos dados |
| 5. Termopar | |

Fonte: Azevedo (2019).

Instalados os instrumentos de medição, 28 motoristas participantes voluntários (profissionais e não profissionais) percorreram o percurso estabelecido, em horários pela manhã ou tarde, em diferentes dias da semana e em vias de classificações funcionais e de aspectos locais diferentes. As emissões medidas em tempo real foram sincronizadas com os dados de ciclos de condução reais e com os demais parâmetros de motor, da sonda Pitot e da geolocalização e geometria das vias.

4.2 Segmentação do percurso

A fim de se identificar fatores que influenciassem nas variações dos ciclos de condução a serem obtidos, optou-se pela segmentação do corredor viário estudado. Essa divisão foi alcançada dividindo os perfis de velocidade no tempo em função da rede de semáforos do corredor. Em uma análise inicial, foi identificado que a presença de semáforos era a principal fonte de variações nas velocidades desenvolvidas no decorrer dos trechos.

Outro benefício da adoção da segmentação está na preservação das peculiaridades de cada trecho, representando as condições de tráfego para cada localidade.

A segmentação foi feita manualmente, a partir das coordenadas de GPS que foram obtidas ao longo da coleta de campo. Foram identificadas as coordenadas de início e fim de cada trecho, determinados pela presença de semáforo. Ao todo, o corredor foi dividido em 35 trechos (sentido Oeste-Leste e Leste-Oeste), totalizando 70 segmentos, a Figura 09 apresenta o percurso segmentado

Figura 09 – Percurso segmentado do ciclo de condução realizado na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil.



Fonte: Adaptado de Google Maps® (2021).

Todos os trechos para um mesmo tipo de via apresentaram similaridades quanto ao volume de tráfego, embora tenham apresentado diferentes comprimentos entre si, com magnitudes de 63 até 618 metros. Naturalmente, as diferenças foram tratadas com a devida atenção. A Tabela 06 a seguir apresenta o número de segmentos presentes em cada avenida e o número de condutores que as percorreram.

Tabela 06 – Número de segmentos por avenida.

Avenida	Nº de segmentos	Nº de condutores
Jovita Feitosa	18	28
Treze de Maio	28	19
Pontes Vieira	24	19

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.3 Análise de Dados

Todos os dados medidos durante o procedimento de coleta foram devidamente organizados e exportados para ferramentas estatísticas a fim de serem analisados em diferentes agrupamentos. Foram obtidos parâmetros como média da velocidade, desvio padrão, emissão de poluentes, velocidades máximas e mínimas para velocidade e aceleração a serem analisados para diferentes agrupamentos.

Para alcançar os objetivos explicitados os dados foram separados em grupos teste de acordo com: o horário em que o percurso foi percorrido; experiência profissional do condutor; condições de tráfego; e classificação funcional das vias. Tal subdivisão foi estabelecida com intuito de comparar e identificar padrões e fatores que possam influenciar os ciclos de condução construídos e interpretá-los buscando suas causas e verificando suas relações com a classificação da via.

Ademais, a partir de análises dos dados, será possível verificar a existência da relação entre a variação dos ciclos de condução e, conseqüentemente, o aumento das emissões veiculares, explicitando como os aspectos urbanos locais podem afetá-los diretamente. A análise da distribuição dos dados e a construção gráficos foram realizados no software R.

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos após a obtenção e a análise dos dados serão apresentados ao longo do presente capítulo.

5.1 Ciclos de condução

Com os dados obtidos e os segmentos definidos, foram construídos ciclos de condução para cada segmento do percurso e para cada condutor que o percorreu. Todos os 28 condutores percorreram os segmentos da Avenida Jovita Feitosa (JF), coletora, nos sentidos Oeste-Leste (OL) e Leste-Oeste (LO), enquanto apenas 19 destes condutores percorreram os segmentos das Avenidas Treze de Maio e Pontes Vieira, arteriais, nos sentidos Oeste-Leste e Leste-Oeste. As Tabelas 07, 08 e 09 a seguir apresentam resumidamente as características dos ciclos de condução reais obtidos dos condutores, nos sentidos OL e LO das Avenidas Jovita Feitosa, Treze de Maio e Pontes Vieira.

Tabela 07 – Características dos ciclos de condução para os segmentos da Avenida Jovita Feitosa na cidade de Fortaleza/CE.

Sentido	Segmento	Velocidade Média (km/h)	Velocidade Máxima (m/s)	Aceleração Máxima (m/s ²)	Aceleração Mínima (m/s ²)	Aceleração Média Positiva (m/s ²)
OL	1	27,88	55,98	1,39	-1,81	0,38
LO	1	14,02	50,98	4,03	-8,05	0,45
OL	2	20,43	45,97	1,39	-2,22	0,45
LO	2	29,36	51,98	1,39	-2,64	0,45
OL	3	26,52	49,00	1,53	-1,53	0,36
LO	3	18,11	49,48	1,53	-1,81	0,50
OL	4	28,57	54,97	1,94	-3,19	0,35
LO	4	28,19	50,98	1,67	-2,09	0,40
OL	5	24,01	54,00	2,09	-2,09	0,48
LO	5	25,38	47,48	1,39	-2,08	0,47
OL	6	31,01	68,98	5,28	-3,00	0,35
LO	6	35,83	55,98	3,06	-8,88	0,35
OL	7	22,17	65,99	1,39	-1,81	0,46
LO	7	21,58	49,99	1,39	-2,50	0,44
OL	8	29,57	60,98	1,39	-2,23	0,33
LO	8	24,25	54,97	2,50	-2,08	0,45
OL	9	13,45	49,97	1,39	-2,50	0,44
LO	9	14,67	47,99	1,53	-1,95	0,46

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 08 – Características dos ciclos de condução para os segmentos da Avenida Treze de Maio na cidade de Fortaleza/CE.

Sentido	Segmento	Velocidade Média (km/h)	Velocidade Máxima (m/s)	Aceleração Máxima (m/s ²)	Aceleração Mínima (m/s ²)	Aceleração Média Positiva (m/s ²)
OL	10	13,25	40,00	1,39	-1,53	0,44
LO	10	27,96	49,00	1,39	-1,95	0,46
OL	11	13,57	47,99	1,67	-2,78	0,42
LO	11	18,81	52,99	1,12	-2,64	0,38
OL	12	5,29	47,99	1,25	-1,81	0,52
LO	12	29,74	44,48	1,53	-1,25	0,44
OL	13	11,53	49,97	1,39	-1,67	0,49
LO	13	11,94	47,99	1,94	-2,22	0,48
OL	14	20,73	47,99	1,39	-1,81	0,45
LO	14	9,37	54,97	1,94	-2,64	0,49
OL	15	24,75	50,98	1,25	-2,09	0,43
LO	15	20,89	47,99	1,39	-1,39	0,42
OL	16	8,42	49,00	1,12	-1,81	0,44
LO	16	28,56	43,99	1,11	-1,25	0,43
OL	17	35,79	49,97	1,25	-0,42	0,37
LO	17	12,52	42,98	1,25	-1,67	0,45
OL	18	17,60	56,99	1,39	-2,92	0,40
LO	18	13,91	52,99	1,53	-3,06	0,44
OL	19	16,94	43,97	1,39	-1,81	0,44
LO	19	18,52	45,00	1,53	-1,39	0,53
OL	20	15,70	47,99	1,81	-2,64	0,44
LO	20	13,00	46,98	1,25	-2,23	0,48
OL	21	12,33	47,99	1,39	-1,81	0,46
LO	21	16,53	45,97	1,53	-2,78	0,43
OL	22	22,35	43,99	1,95	-1,81	0,47
LO	22	16,47	49,00	1,39	-1,81	0,41
OL	23	7,62	49,97	1,25	-3,34	0,53
LO	23	33,42	54,00	1,39	-1,25	0,48

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 09 – Características dos ciclos de condução para os segmentos da Avenida Pontes Vieira na cidade de Fortaleza/CE.

Sentido	Segmento	Velocidade Média (km/h)	Velocidade Máxima (m/s)	Aceleração Máxima (m/s ²)	Aceleração Mínima (m/s ²)	Aceleração Média Positiva (m/s ²)
OL	24	15,15	58,97	1,39	-2,09	0,45
LO	24	24,51	60,98	1,53	-2,50	0,47
OL	25	19,13	49,00	1,39	-3,48	0,45
LO	25	11,64	50,98	1,95	-2,37	0,51
OL	26	20,98	49,00	1,39	-2,50	0,43
LO	26	17,27	52,99	1,39	-1,67	0,48
OL	27	12,73	46,98	1,39	-1,95	0,49
LO	27	9,32	52,99	1,25	-2,64	0,42
OL	28	24,06	45,97	1,39	-1,39	0,48
LO	28	20,01	55,98	1,39	-1,81	0,43
OL	29	19,69	50,98	1,39	-2,08	0,46
LO	29	10,80	54,97	1,39	-2,37	0,53
OL	30	23,27	50,98	1,25	-1,81	0,38
LO	30	16,08	52,99	1,81	-2,64	0,41
OL	31	21,87	52,99	1,25	-1,39	0,39
LO	31	20,38	51,98	1,81	-2,64	0,43
OL	32	21,09	52,99	1,53	-2,36	0,47
LO	32	16,87	51,98	1,53	-1,95	0,35
OL	33	11,81	49,97	1,67	-1,95	0,51
LO	33	43,61	63,00	1,25	-1,11	0,30
OL	34	6,34	43,49	1,39	-2,50	0,55
LO	34	29,17	55,98	1,12	-1,81	0,47
OL	35	16,15	46,98	1,39	-2,50	0,37
LO	35	5,58	34,99	1,39	-1,53	0,52

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Analisando as velocidades desenvolvidas foram percebidas grandes variações entre os segmentos. Uma das principais diferenças foi observada entre as velocidades médias desenvolvidas nos segmentos da avenida coletora com as desenvolvidas nas avenidas arteriais, com as avenidas arteriais apresentando média 25% mais baixa e variabilidade de 43,58%, considerando ambos os sentidos.

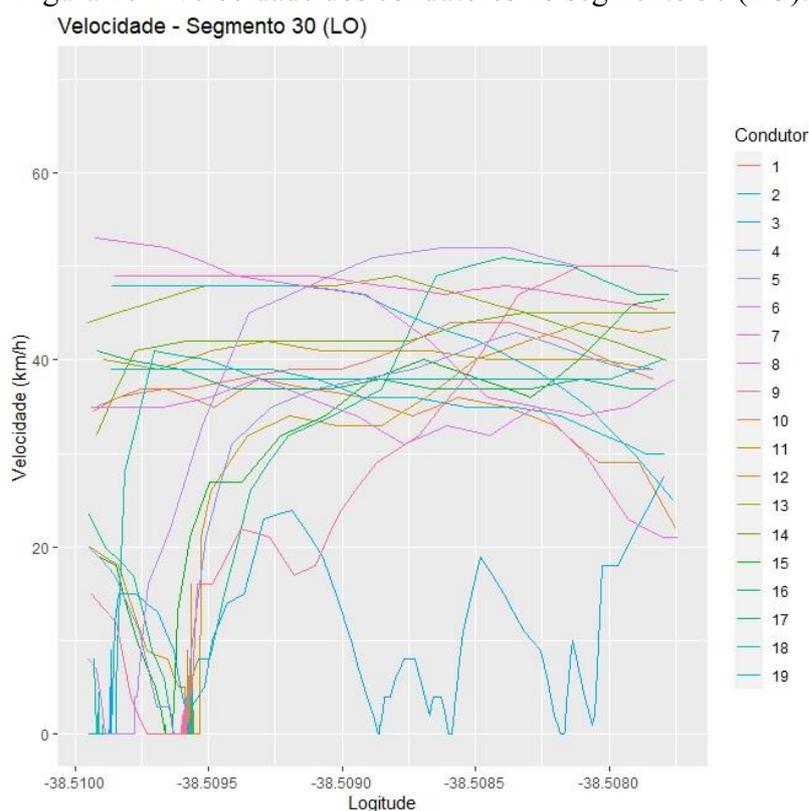
Em relação ao FTP-75, as velocidades médias observadas têm valores bem próximos aos valores apresentados pelos ciclos de condução dos segmentos da avenida coletora. Para as avenidas arteriais os valores também foram inferiores aos do FTP-75, mas não de forma expressiva. Apesar dos valores encontrados para a avenida coletora, os condutores selecionados não podem ser classificados como agressivos, devido às características de tráfego da região em estudo, pelas condições reais de condução e pelo tipo

da via (coletora), que tem uma maior fluidez no tráfego devido menor volume de veículos na região, como percebemos ao comparar os resultados com os obtidos nas avenidas arteriais.

Quanto as acelerações máximas e mínimas não foram identificadas diferenças significativas entre os tipos de avenidas nem com relação aos sentidos, mas em relação ao FTP-75 são significativamente diferentes, apresentando valores superiores ao ciclo de condução padrão e proximidade aos valores do ciclo padrão US06. As acelerações médias em todos os ciclos de condução, reais e padrão, são iguais a zero.

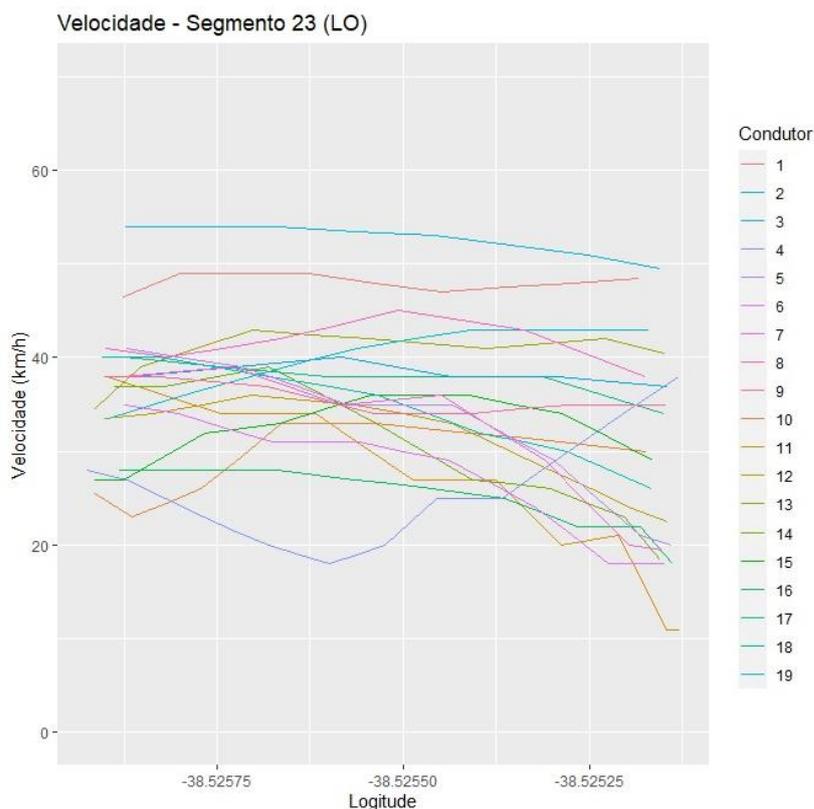
Buscando compreender as variações das velocidades médias apresentadas, foram selecionados 2 segmentos cujos gráficos das velocidades desenvolvidas no espaço representassem os extremos observado na amostra, com o intuito de investigar os padrões existentes e suas causas, apresentados nas Figuras 10 e 11 a seguir.

Figura 10 – Velocidade dos condutores no segmento 30 (LO).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 11 – Velocidade dos condutores no segmento 23 (LO).

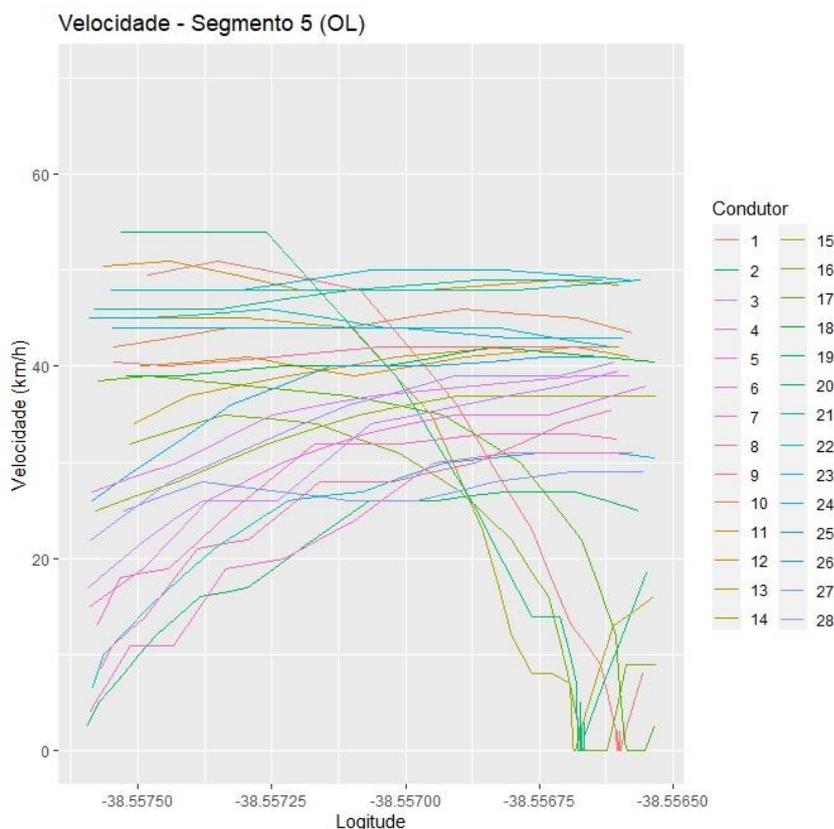


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nas Figuras 10 e 11 é possível observar duas situações distintas e extremas que ocorrem nos segmentos. Na primeira, uma parcela de condutores realizam várias paradas consecutivas no decorrer do percurso, o que pode ser explicado pela formação de filas no semáforo do segmento; na segunda os condutores percorrem o trajeto sem nenhuma interrupção, apresentando baixa variação na velocidade desenvolvida. Tais situações corroboram a influência do semáforo no perfil de velocidades desenvolvidas.

Na Figura 12, é apresentada uma terceira situação que representa o perfil de velocidades que ocorre na maioria dos segmentos, caracterizando-os. Na figura é possível perceber a presença de três situações distintas entre os condutores, na primeira, a velocidade, apesar de mais baixa no início do segmento, aumenta gradualmente e é mantida constante até o fim do trecho, na segunda situação, a velocidade se mantém constante no início e há uma brusca desaceleração próxima ao fim do segmento até a velocidade tornar-se nula, já na terceira situação, os motoristas mantêm uma velocidade constante durante toda a extensão do segmento.

Figura 12 – Velocidade dos condutores no segmento 5 (OL).



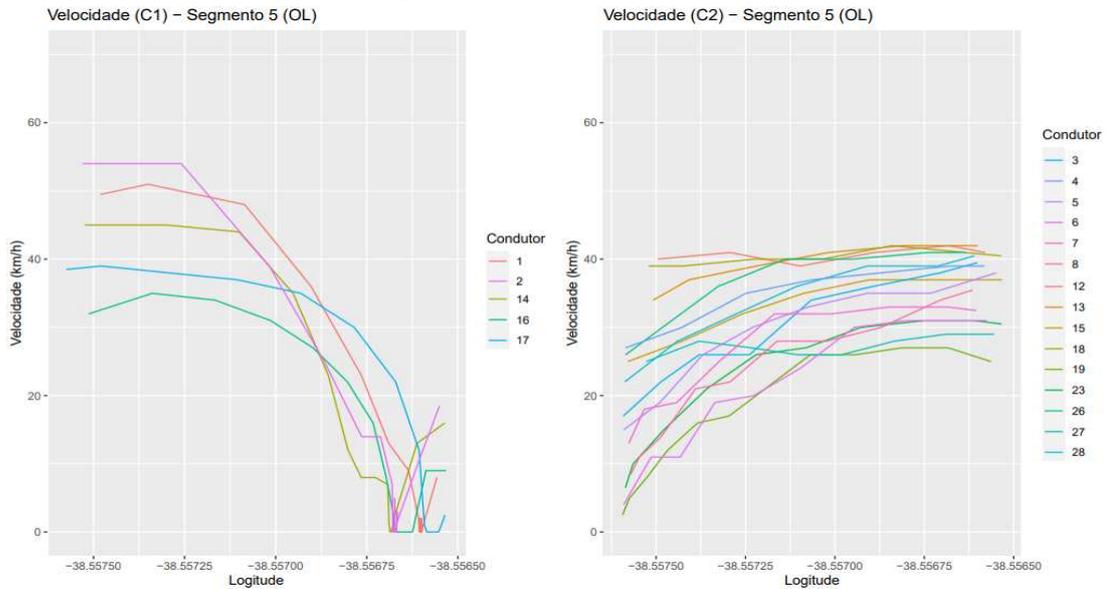
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Devido à disposição dos segmentos, definidos pela presença de semáforos, as desacelerações e consequentes paradas identificadas na segunda situação podem ser associadas a etapa do semáforo cuja passagem é proibida, assim como o comportamento observado na segunda situação em que o motorista inicia o percurso com baixa velocidade devido a parada no semáforo do segmento anterior. Como pode ser visto, somente na terceira situação a condução do motorista não é afetada diretamente pela etapa que se encontra o semáforo.

Buscando respeitar os limites entre os segmentos, somente dois comportamentos serão considerados para estudo. O primeiro (C1) engloba os condutores que não apresentaram velocidades nulas devido ao semáforo presente no trecho e o segundo (C2) engloba os condutores restantes.

A Figura 13 a seguir apresenta a nova análise dos segmentos 5 (OL), considerando somente os condutores com velocidades médias dentro do desvio padrão e agrupados pela condução desenvolvida em cada segmento (C1 e C2).

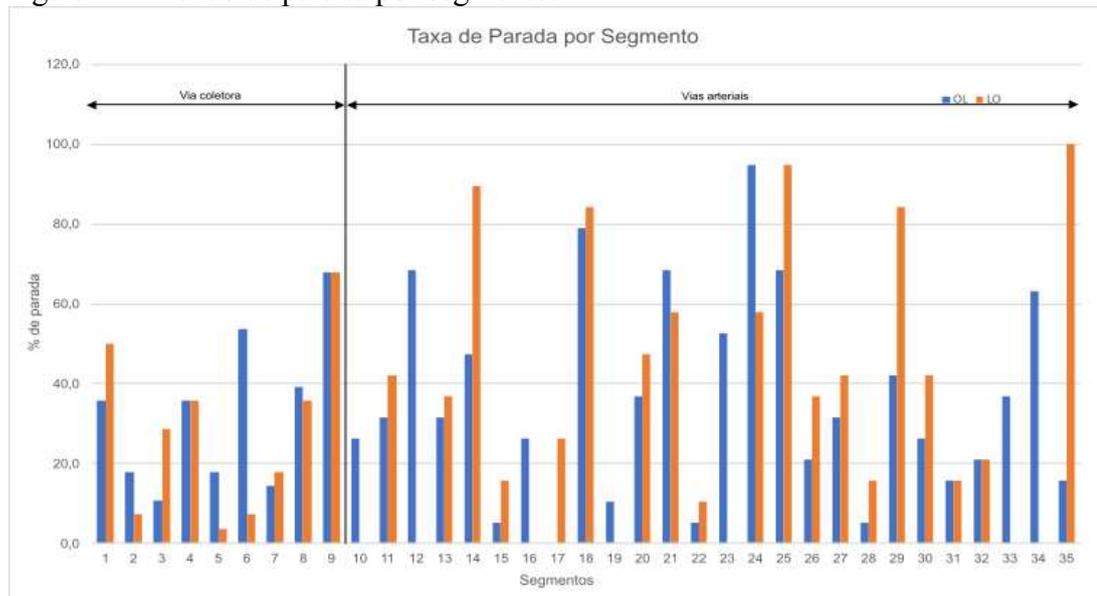
Figura 13 – C1 e C2 para o segmento 5 (OL).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os resultados apresentados na Figura 13 permitiram certificar a existência de dois padrões de condução existentes nos segmentos, correspondentes as situações C1 e C2. O primeiro comportamento retrata a condução influenciada pelo semáforo do segmento, enquanto o segundo retrata a condução sem grande influência de aspectos locais do segmento. Para compreender outros aspectos da influência da etapa semaforica, a Figura 14 apresenta as taxas de parada para cada segmento, que mostra a porcentagem dos condutores que desenvolveram velocidades nulas no percurso, em ambos os sentidos.

Figura 14 – Taxas de parada por segmento.

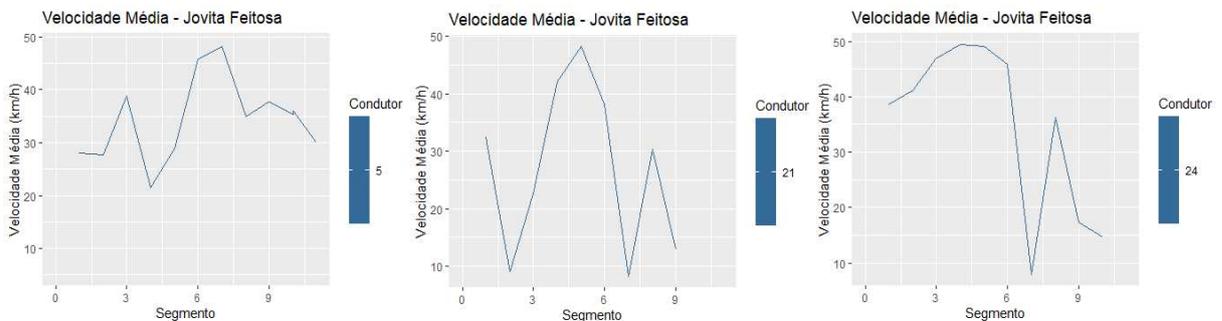


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Analisando as taxas de parada pode-se observar que os segmentos de sentidos contrários não apresentam similaridades neste quesito, apresentando resultados totalmente independentes, com as maiores taxas associadas ao sentido Leste-Oeste. Quanto a classificação das vias, foram percebidas diferenças entre a via coletora (JF) e as vias arteriais (TM e PV), tendo a via coletora taxas de parada mais baixas e com poucas discrepâncias entre os sentidos de um mesmo segmento, o que pode estar relacionado as características de tráfego desse tipo de via, que possuem um menor volume de veículos trafegando.

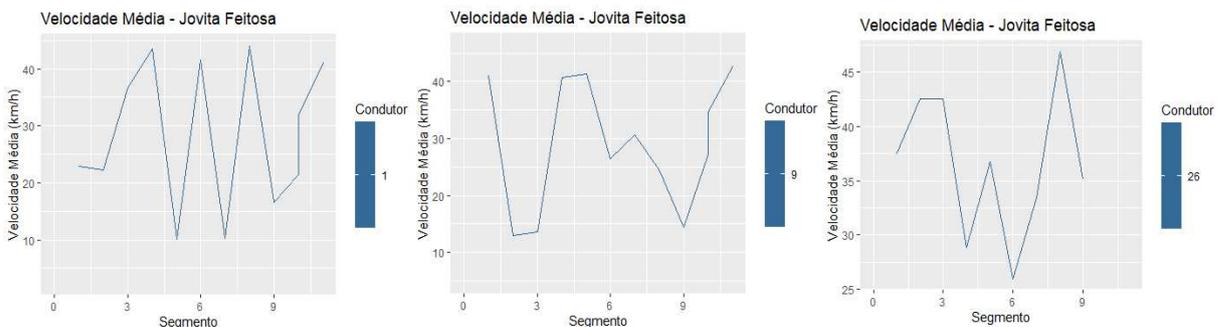
A influência do horário em que o trajeto foi percorrido constitui outra hipótese levantada na tentativa de explicar os padrões C1 e C2 observados nos condutores, para tal, foram selecionados condutores de acordo com o horário em que percorreram o trajeto e agrupados para o horário das 11 e 13 horas, sendo avaliados somente os segmentos da Avenida Jovita Feitosa pelo número maior de condutores participantes, representados pelas velocidades médias desenvolvidas ao longo dos segmentos nas Figuras 15 e 16, respectivamente. Todas as viagens foram realizadas fora da hora-pico, não sendo possível realizar análise sobre este horário.

Figura 15 – Velocidade média dos condutores com viagem realizadas às 11 horas.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 16 – Velocidade média dos condutores com viagem realizadas às 13 horas.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Como pode observado, as velocidades médias desenvolvidas entre os condutores agrupados no mesmo horário não apresentaram nenhuma similaridade, descartando a hipótese de que o horário em que o trajeto foi percorrido possa influenciar significativamente nos resultados obtidos nesta pesquisa.

Diante do exposto e buscando reforçar a influência do *stop and go* nos padrões de condução identificados, foram selecionados ciclos de condução de segmentos que apresentassem além das altas e baixas taxas de parada, os maiores e menores somatórios de segundos parados, respectivamente, de acordo com a Tabela 10.

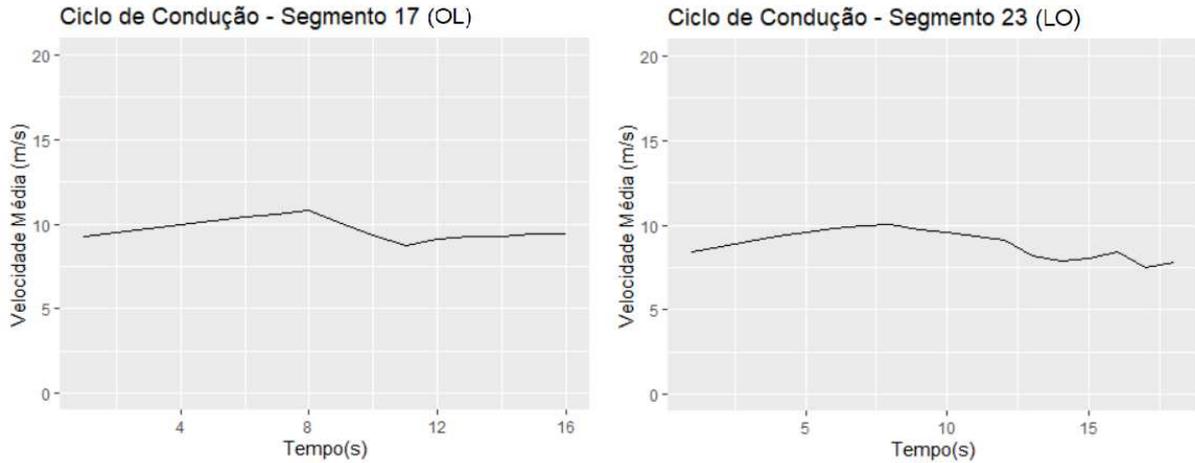
Tabela 10 – Somatório de segundos parados por segmento.

Segmento	Sentido	Somatório	Segmento	Sentido	Somatório
1	OL	136	18	LO	809
1	LO	1121	19	OL	126
2	OL	117	19	LO	55
2	LO	66	20	OL	411
3	OL	83	20	LO	498
3	LO	206	21	OL	714
4	OL	202	21	LO	479
4	LO	181	22	OL	5
5	OL	93	22	LO	117
5	LO	74	23	OL	540
6	OL	255	23	LO	0
6	LO	64	24	OL	1029
7	OL	112	24	LO	341
7	LO	163	25	OL	378
8	OL	122	25	LO	1029
8	LO	255	26	OL	185
9	OL	747	26	LO	332
9	LO	639	27	OL	326
10	OL	292	27	LO	548
10	LO	47	28	OL	5
11	OL	554	28	LO	151
11	LO	448	29	OL	297
12	OL	877	29	LO	795
12	LO	0	30	OL	232
13	OL	435	30	LO	442
13	LO	421	31	OL	119
14	OL	201	31	LO	167
14	LO	1397	32	OL	132
15	OL	21	32	LO	248
15	LO	157	33	OL	314
16	OL	302	33	LO	0
16	LO	0	34	OL	791
17	OL	0	34	LO	29
17	LO	254	35	OL	175
18	OL	659	35	LO	920

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os segmentos selecionados com baixo somatório de segundos parados foram o segmento 17 no sentido Oeste-Leste e o segmento 23 no sentido Leste-Oeste, com seus respectivos ciclos de condução representados nas Figura 17.

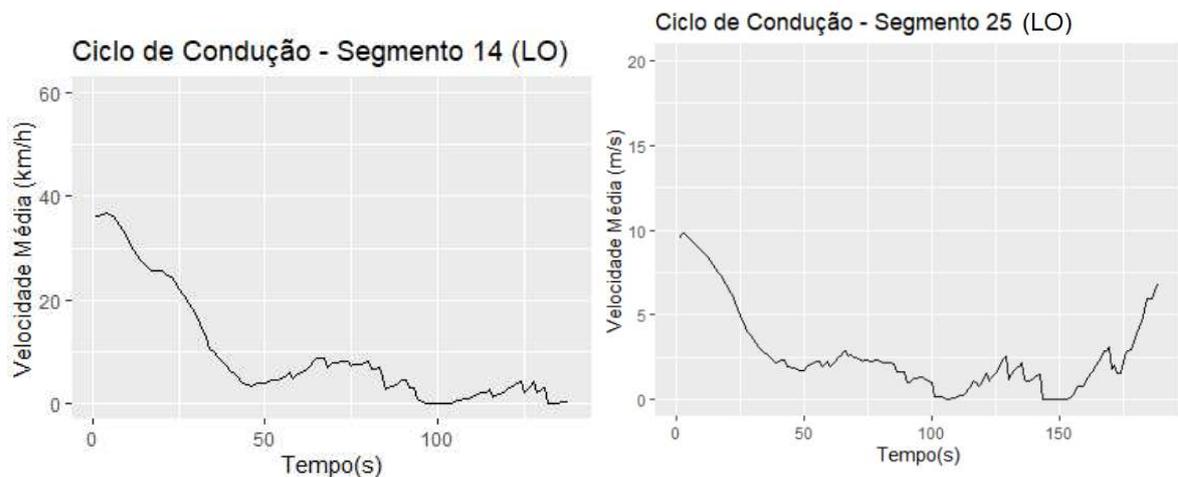
Figura 17 – Ciclos de condução dos segmentos 17 (OL) e 23 (LO).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se que nos segmentos em que a influência do semáforo é considerada “baixa”, há poucas variações na velocidade média desenvolvida no ciclo de condução, mantendo uma velocidade constante durante o percurso, enquanto segmentos que apresentaram um alto somatório de segundos parados e altas taxa de paradas no segmento, como os segmentos 14 (LO) e 25 (LO), apresentaram ciclos de condução com grandes variações de velocidade média, representados na Figura 18.

Figura 18 – Ciclos de condução dos segmentos 14 (LO) e 25 (LO).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

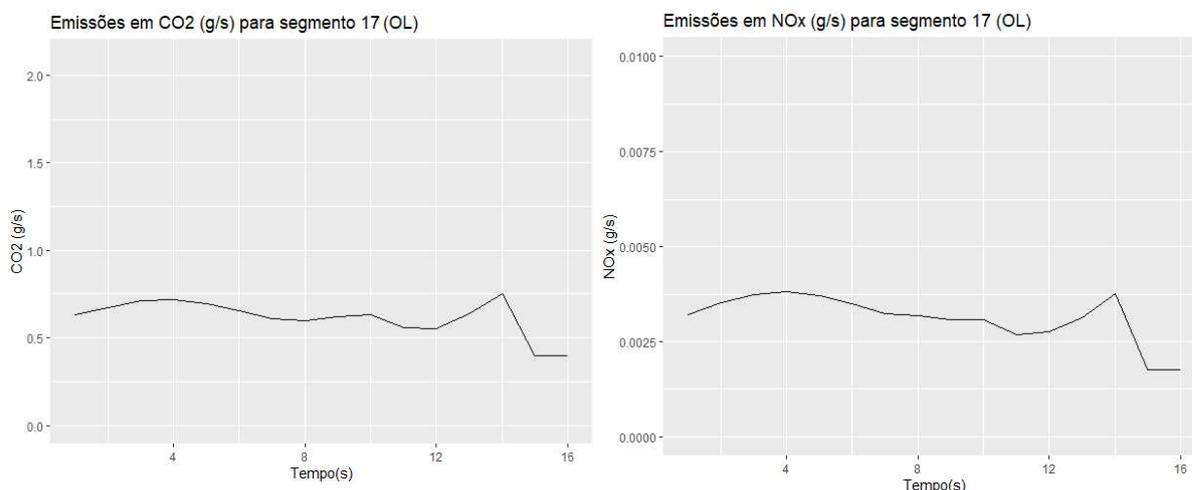
Analisando a Figura 18, pode-se perceber que em ambos os segmentos existem grandes períodos nos quais a velocidade média do percurso atinge valores extremamente baixos e por muitas vezes até nulo, o que pode ser compreendido como resultado direto dos aspectos locais dos segmentos. Tais comportamentos implicam diretamente na emissão de poluentes pelos veículos, como será observado na sessão seguinte.

5.2 Perfis de emissão

Com os dados das emissões de poluentes e a partir do percurso segmentado, foi possível a construção de perfis de emissão para os segmentos de interesse, com os poluentes mais prejudiciais emitidos por motores à diesel, o dióxido de carbono (CO_2) e os óxidos de nitrogênio (NO_x).

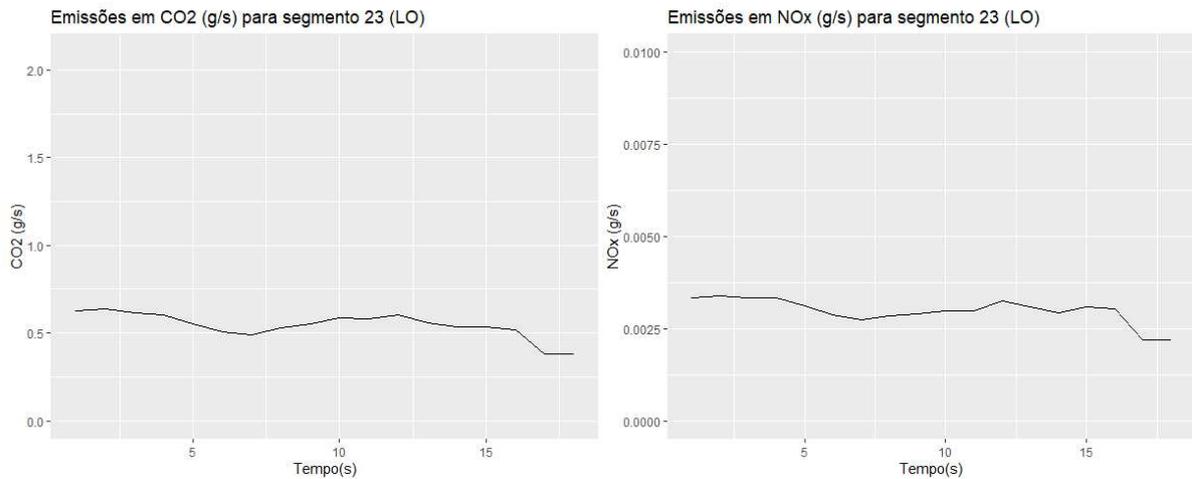
Para início das análises, os primeiros perfis a serem visualizados foram os correspondentes aos segmentos que apresentaram velocidade constante nos ciclos de condução apresentados na sessão anterior. Nas Figuras 19 e 20 a seguir, serão apresentados os perfis de emissão de CO_2 e NO_x para os segmentos 17 (OL) e 23 (LO), respectivamente.

Figura 19 – Perfis de emissão para CO_2 e NO_x no segmento 17 (OL).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

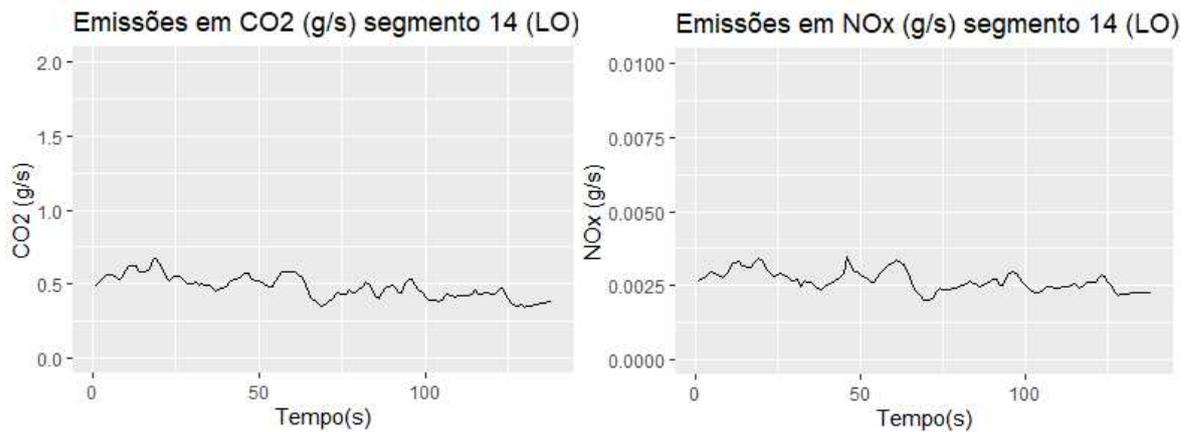
Figura 20 – Perfis de emissão para NO_x e CO_2 no segmento 23(LO).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

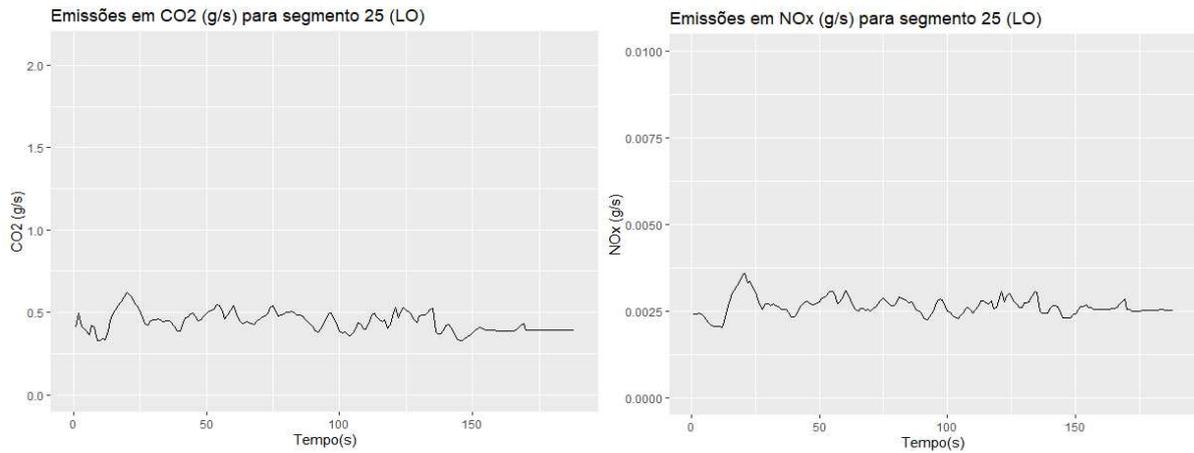
Como podemos observar nos segmentos acima, ambas as emissões se mantêm baixas e constantes, isso ocorre devido a velocidade constante mantida em boa parte da extensão do segmento e falta de acelerações e desacelerações bruscas. Entretanto, o contrário não ocorre com segmentos que apresentaram um alto somatório de segundos parados e altas taxa de paradas no segmento, como pode ser observado ao analisarmos os perfis de emissão dos segmentos 14 (LO) e 25 (LO), como apresentado nas Figura 21 e 22.

Figura 21 – Perfis de emissão para CO_2 e NO_x no segmento 14 (LO).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 22 – Perfis de emissão para CO₂ e NO_x no segmento 25 (LO).

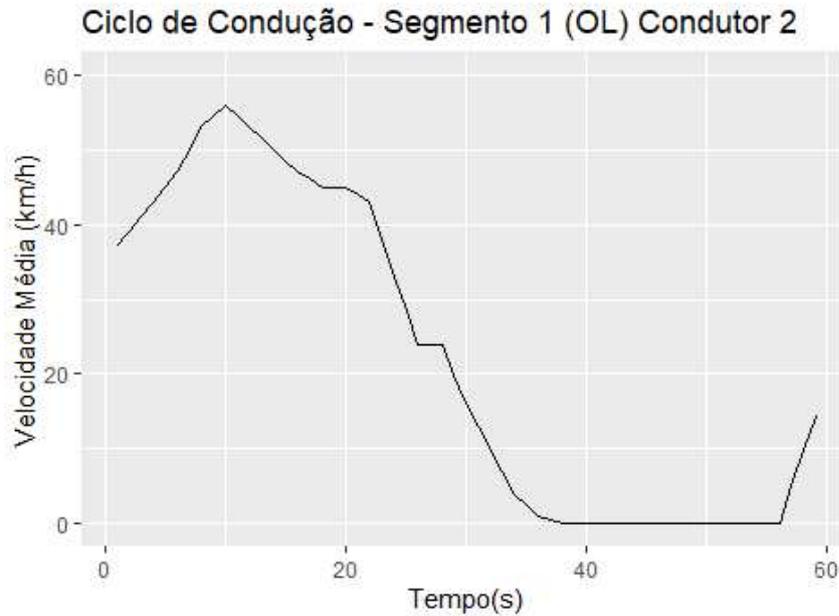


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tal comportamento é reflexo da falta de grandes acelerações nos segmentos apresentados devido as filas geradas no semáforo de cada segmento, onde os condutores, ao entrarem ou saírem desse estado, não apresentam acelerações bruscas. Entretanto, seus efeitos na emissão de poluentes não podem ser desprezados, embora não apresentem grandes picos de emissões, o período extremamente elevado em que se encontram em fila contribui expressivamente para uma quantidade maior de poluentes emitidos se comparados aos segmentos que apresentaram velocidade constante. Apesar da diferença entre os comprimentos dos segmentos ser fator atenuante, as diferenças entre as durações de percursos ainda são expressivas.

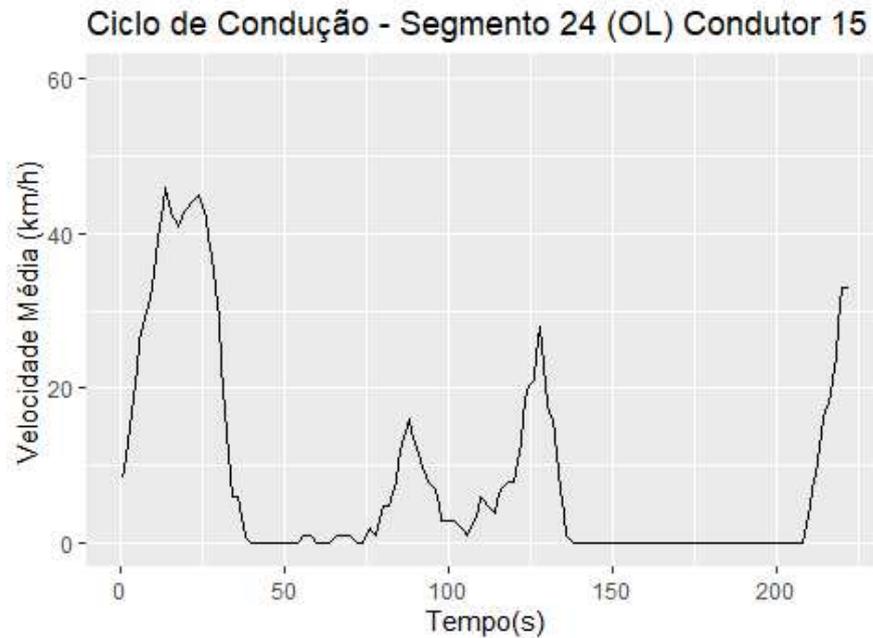
Para investigar a influência das acelerações bruscas nas emissões de poluentes foram selecionados condutores que apresentaram os maiores índices de emissões e os respectivos segmentos onde ocorreram, para que fossem analisados seus ciclos de condução, nas Figuras 23 e 24, e posteriormente seus perfis de emissão.

Figura 23 – Ciclos de condução do condutor 2 no segmento 1 (OL).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 24 – Ciclos de condução do condutor 15 no segmento 24 (OL).

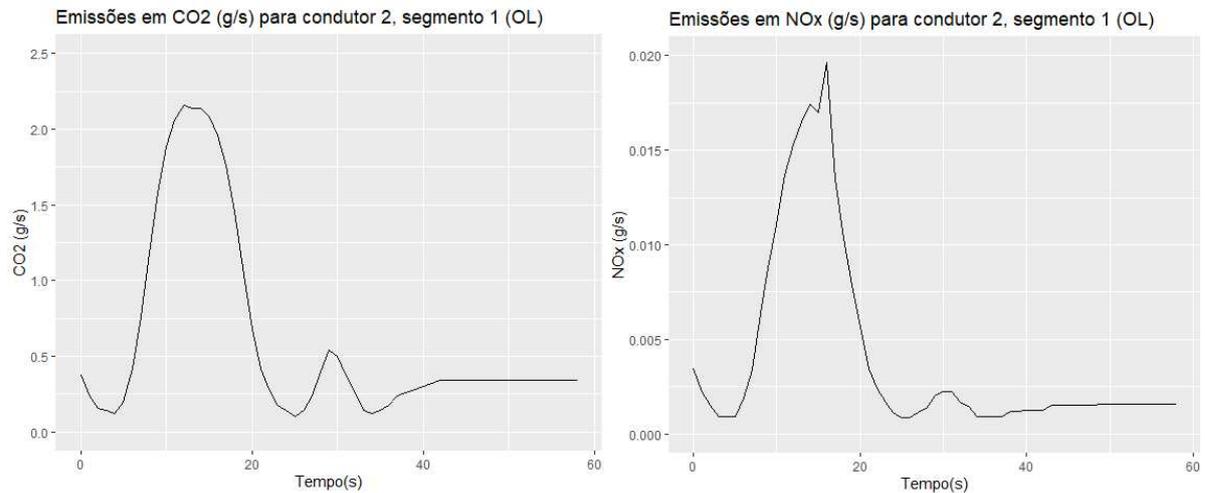


Fonte: Elaborado pelo Autor

Os ciclos de condução apresentados possuem grandes acelerações e desacelerações em sua extensão. O primeiro possui um pico de velocidade, entre os segundos 0 e 20, seguidas por uma desaceleração suave até um período de velocidade nula. O segundo possui 3 picos de velocidade, sofrendo acelerações e desacelerações intercaladas por períodos de inatividade ao longo do segmento. As Figuras 25 e 26 apresentam os perfis de emissão

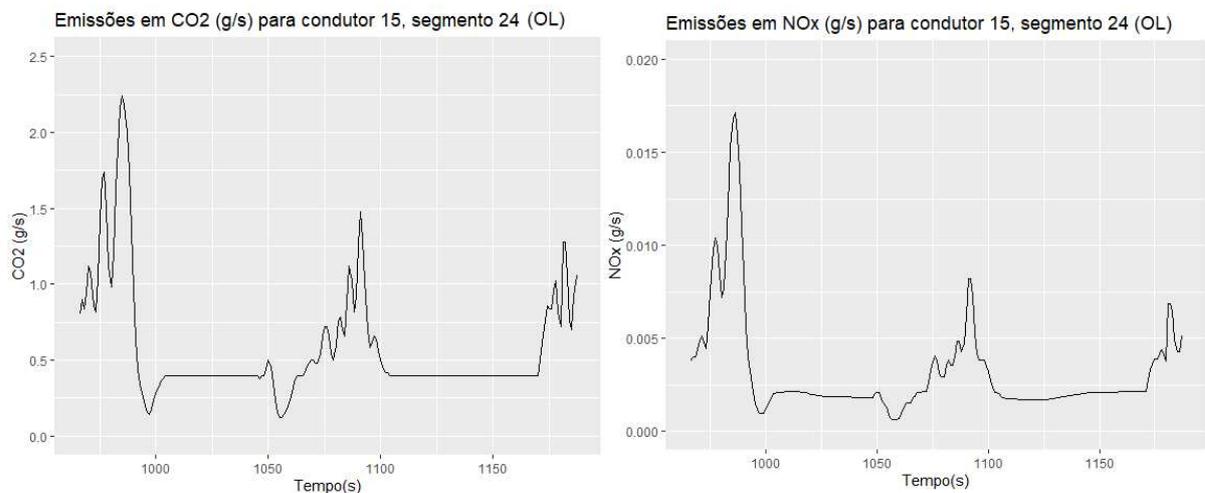
para o condutor 2 no segmento 1 (OL) e para o condutor 15 no segmento 24 (OL), respectivamente.

Figura 25 – Perfis de emissão para CO₂ e NO_x para o condutor 2 no segmento 1 (OL).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 26 – Perfis de emissão para CO₂ e NO_x para o condutor 15 no segmento 24 (OL).



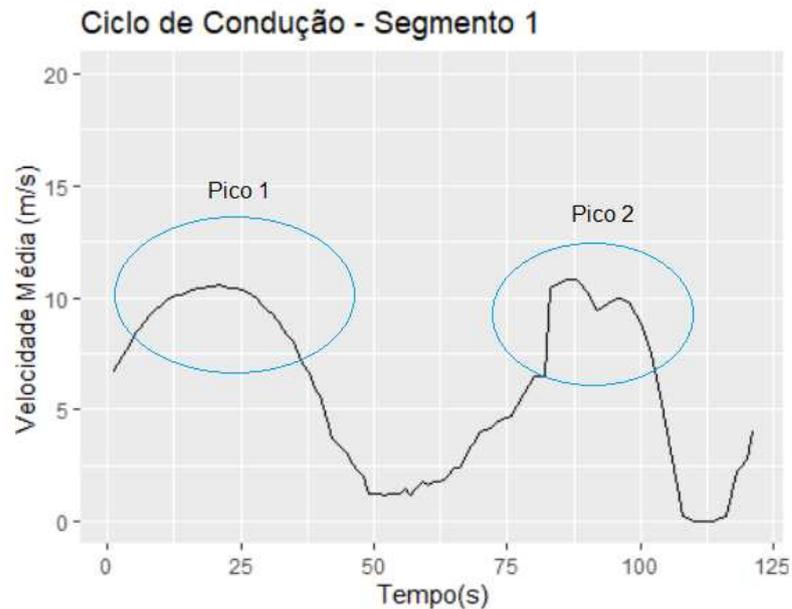
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Como pode ser observado, nas grandes variações de velocidade os picos de emissões se evidenciam. Para o primeiro condutor o pico de emissão ocorre no período da grande aceleração entre os segundos 0 e 20, enquanto o segundo condutor apresenta picos de emissão nos períodos correspondentes as várias acelerações e desacelerações seguidas desenvolvidas. Nestes casos, os picos de emissão de CO₂ alcançam os mesmos valores enquanto nas emissões de NO_x o condutor 2 apresenta um pico duas vezes maior que o condutor 15, fator ocasionado pelo condutor 2 ser mais agressivo, desenvolvendo as mesmas

velocidades do condutor 15 em menor período, ocasionando maiores temperaturas na câmara de combustão.

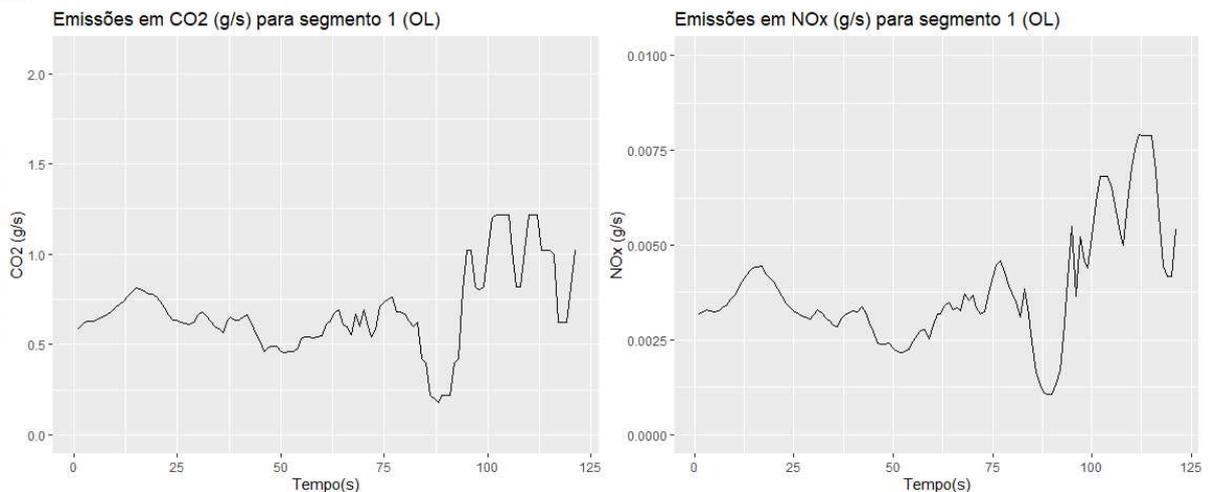
Apesar dos resultados serem bem visíveis para esses condutores nesses segmentos, a associação entre os ciclos de condução do segmento para todos os condutores é mais evidente para desacelerações mais agressivas, como pode ser observado nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 – Ciclos de condução do segmento 1 (OL).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 28 – Perfis de emissão para CO₂ e NO_x para o segmento 1 (OL).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com as figuras acima é possível perceber a diferença entre os perfis apresentados para o segmento 1 (OL) e os perfis de emissão apresentados nas Figuras 25 e 26, enquanto

nesta última os picos de emissão acompanham as variações de velocidade, para o segmento 1(OL) as desacelerações se evidenciam. As desacelerações entre os segundos 100 e 113 são representadas pelos picos de emissão para CO₂ e NO_x em igual período no segmento 1 (OL), a primeira desaceleração não é representado em igual proporção por ser bem menos brusca, ocorrendo em um período maior. A desaceleração brusca no segundo pico é efeito da parada do veículo próxima ao fim do segmento, decorrente da presença do semáforo no fim trecho.

6 CONCLUSÕES

Sabendo-se que a condução está entre os fatores que mais influenciam as emissões de poluentes veiculares e que os padrões de condução afetem fortemente as emissões de poluentes provenientes dos veículos, o conhecimento empírico existente sobre a utilização de ferramentas que englobem tais conhecimentos é escasso. A situação se agrava quanto ao conhecimento sobre ciclos de condução relacionados ao apoio e otimização do planejamento operacional de transportes, no qual os métodos convencionais utilizados não incorporam o consumo de combustíveis e as emissões de poluentes.

A construção de ciclos de condução como ferramenta que associa aspectos locais, as formas de condução e a emissão de poluentes, é peça imprescindível no processo de planejamento de transportes urbano com objetivo de torná-lo mais eficiente e mais sensível a poluição do ar urbano. Nesse sentido o presente trabalho buscou compreender a utilização dos ciclos de condução construídos no apoio e otimização do planejamento dos sistemas de transportes procurando identificar padrões nos ciclos de condução, fatores e aspectos locais que impactavam em seu comportamento e conseqüentemente na emissão de poluentes.

Para a construção dos ciclos de condução foram utilizados dados de condução reais de 28 motoristas, que trafegaram utilizando Veículos Urbanos de Carga (VUC), com motor ciclo diesel, em três grandes avenidas da cidade de Fortaleza, que foram divididas em segmentos menores delimitados pela presença de semáforo.

Procurou-se, inicialmente, verificar a existência de padrões observáveis nos ciclos de condução construídos, que ao serem analisados apresentaram 3 diferentes padrões na forma de condução dos motoristas investigados, no primeiro, a velocidade, apesar de mais baixa no início do segmento, aumenta gradualmente e é mantida constante até o fim do trecho, no segundo, a velocidade se mantém constante no início e há uma brusca desaceleração próxima ao fim do segmento até a velocidade tornar-se nula, já no terceiro padrão, os motoristas mantêm uma velocidade constante durante toda a extensão do segmento.

Com os padrões identificados, buscou-se determinar fatores que influenciavam nas variações dos ciclos de condução construídos. O exame mais atento aos perfis de velocidade demonstrou a relação entre os padrões observados e os semáforos presentes nos segmentos, onde as paradas e as diminuições de velocidade próximas ao fim dos segmentos, além das acelerações em seu início foram indicativos da influência dos semáforos na forma de condução dos motoristas. Além dessa, outra hipótese verificada foi a da influência do horário

em que os trajetos foram percorridos, que dentro dos dados disponíveis foram avaliadas como inexistentes.

Objetivou-se, ainda, avaliar a influência do *stop and go* nos perfis de emissões dos ciclos mais e menos afetados pelo fenômeno. Nesse aspecto foi possível observar que ambos os ciclos apresentavam emissões baixas e com poucas variações, entretanto ao comparar suas durações e extensões, a quantidade de poluentes emitidas nos ciclos mais afetados são consideravelmente mais altas, devido aos longos períodos que a velocidade foi nula no segmento. A influência mais significativa sobre os perfis de emissões foi a observada em condutores cujos ciclos apresentaram as maiores variações de velocidades, com bruscas acelerações e desacelerações em curtos períodos devido ao *stop and go*.

Analisando ainda os perfis de emissão de segmentos, foi observado que para o conjunto de condutores os dados tornam-se menos sensíveis, nos quais somente nas desacelerações bruscas é possível verificar o impacto nas emissões de poluentes.

Conclui-se, portanto, que as paradas no percurso devido a etapa semafórica nas quais os segmentos apresentam, influenciam diretamente nas velocidades desenvolvidas, nas durações das viagens e, conseqüentemente, na emissão de poluentes, mostrando-se válida a utilização destas ferramentas no apoio e otimização no planejamento operacional de transportes, identificando trechos problemáticos e corrigindo-os de acordo com a análise de seus resultados e demais fatores influenciadores.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Com objetivo de incorporar ao processo de planejamento de sistemas de transportes, recomenda-se que haja complementação do presente estudo de forma a inserir nas análises aspectos inerentes a:

- variação do perfil de vias;
- análise em relação a hierarquia viária;
- avaliação dos efeitos em termos de outros veículos;
- análise dos trechos com maior emissão de poluentes, correlação com aspectos envolvendo uso do solo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15634**: Veículos rodoviários automotores — Análise e determinação do gás de exaustão segundo os ciclos ETC, ESC e ELR. Rio de Janeiro, 2012. 156 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7024**: Veículos rodoviários automotores leves — Medição do consumo de combustível — Método de ensaio Light. Rio de Janeiro, 2017. 15 p.

ACHOUR, Hussam; OLABI, Abdul-Ghani. **Driving Cycle Developments and Their Impacts on Energy Consumption of Transportation**. Journal of Cleaner Production, vol. 112, p. 1778-1788, 2016.

ANDRÉ, M. **The ARTEMIS European Driving Cycles for Measuring Car Pollutant Emissions**. Science of the Total Environment, v. 73, p. 334-335, 2004.

ARIOTTI, P. **Método para aprimorar a estimativa de emissões veiculares em áreas urbanas através de modelagem híbrida em redes**. 2010. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

AUSTIN, T. C. *et al.* **Characterization of Driving Patterns and Emissions from Light-Duty Vehicles in California**. The final report, Contract n° A932-185. Sacramento: California Air Resources Board, 1993.

AZEVEDO, J. A. H. **Proposta metodológica para elaboração de fatores de emissão de veículos de carga a partir de perfis de condução**. 2019. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2019.

AZIMI, S. *et al.* **Sources, distribution and variability of hydrocarbons and metals in atmospheric deposition in an urban area (Paris, France)**. Science of the Total Environment, v.337, p.223–239, 2005.

BARLOW, T. *et al.* **A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions**. 3 ed. Bracknell: HIS, 2009.

BARTRA, J. *et al.* **Air pollution and allergens**. Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology, v.17, p.3-8, 2007.

BERG, Wolfgang. **Legislation for the reduction of exhaust gas emissions**. Handbook of Environmental Chemistry, v. 3, p. 175–253, 2003.

BRITO, H. P. **Análise das emissões atmosféricas gerados por veículos automotores em**

Natal – RN. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2005.

BRITO, F.; HORTA, C. **A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas**. Cedeplar - IUSSP, 2002.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna: volume 1**. São Paulo: Blucher, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 01/86**, de 23 de janeiro de 1986.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 403/08**, de 11 de novembro de 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 491/18**, de 19 de novembro de 2018.

DAI, Z.; NIEMEIER, D.; EISINGER, D. **Driving cycles: A new Cycle-Building Method that Better Represents Real World Emissions**. Davis: Department of Civil & Environmental Engineering. University of California, 2008.

DECHEZLEPRÊTRE, A.; NEUMAYER, E.; PERKINS, R. **Environmental regulation and the cross-border diffusion of new technology: evidence from automobile patents**. *Research Policy*, v. 44, n. 85, p. 244-257, 2015.

DIAS, H. L. F. **Análise da modelagem integrada da emissão de poluentes atmosféricos provenientes de veículos transportadores de carga em área urbana**. 2014. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.

DRUMM, F. C. *et al.* **Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo e veículos automotores**. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 66-78, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/10537/pdf>>. Acesso em: 07 de maio de 2021.

DUTRA, E. G. *et al.* Emissão de gases poluentes por veículos leves a gasolina na atmosfera de Belo Horizonte. IN: **Seminário Tecnológico de Motores, Combustíveis e Emissões**. Belo Horizonte, 2004.

LAI, J., YU, L., SONG, G., GUO, P., CHEN, X. **Development of city-specific driving cycles for transit buses based on VSP distributions**. 91st Transportation Research Board Annual Meeting. Washington D.C., 2012.

LIMA, E. P. **Análise da emissão de poluentes automotivos na cidade de Maringá**. 2007.

163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2007.

GIAKOUMIS, Evangelos G. **Driving and Engine Cycles**. Cham: Springer International Publishing, 2017.

GUARIEIRO, L. L. N. Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, vol. 3(5), p. 434-445, 2011. Disponível em: <<http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v3n5a08.pdf>>. Acesso em: 01 de junho de 2021.

HABERMANN, M.; MEDEIROS, A. P. P.; GOUVEIA, N. Tráfego veicular como método de avaliação da exposição à poluição atmosférica nas grandes metrópoles. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 14, n. 1, p. 120-130, 2011.

SMOKE, T.; SMOKING, I. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. **IARC, Lyon**, p. 1-1452, 2004.

JUNIOR, A. M et al. **Projeto de monitoramento da qualidade do ar em Porto Alegre**. Porto Alegre: ISBN, 2013.

LOUREIRO, L. N. **Panorâmica sobre emissões atmosféricas estudo de caso: avaliação do inventário emissões atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis**. 2005. 171 f. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

MACIEL FILHO, F. F. **Construção de ciclos de condução para estimativa de emissões veiculares para ônibus urbano**. 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

MARTINS, J. (2005). Internal combustion engines. **Publindústria**, Porto, 2005.

NESAMANI, K. S.; SUBRAMANIAN, K. P. Development of a Driving Cycle for Intra-city Buses in Chennai, India. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 5469-5476, 2011.

NOURI, P.; MORENCY, C. Evaluating Microtrip Definitions for Developing Driving Cycles. **Transportation Research Record**, vol. 2627, pág. 86-92, 2017.

OLIVEIRA, C. M.; D'AGOSTO, M. A. Reference guide on sustainability. **Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável**, 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, Diário Oficial do Município (DOM, 2012). “Autarquia Municipal de Trânsito, serviços públicos e cidadania”.

OLIVEIRA, M. P.B. **Estudo da dispersão atmosférica e agressividade do meio em Maringá - PR por meio do modelo de dispersão Aermod**. 2012. xvii, 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2012.

POURESMAEILI, M. A.; AGHAYAN, I.; TAGHIZADEH, S. A. Development of Mashhad driving cycle for passenger car to model vehicle exhaust emissions calibrated using on-board measurements. **Sustainable Cities and Society**, vol. 36, pág. 12–20, 2018.

RAVINDRA, K.; SOKH, R.; GRIEKEN, R. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. **Atmospheric Environment**, v.42, p.2895–2921, 2008.

SANTOS, T. L. Emissões de poluentes por veículos automotores. **Revista Educação Pública**, vol. 16, ed. 7, 2016. Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/edicoes/16/7>>. Acesso em: 28 de maio de 2021.

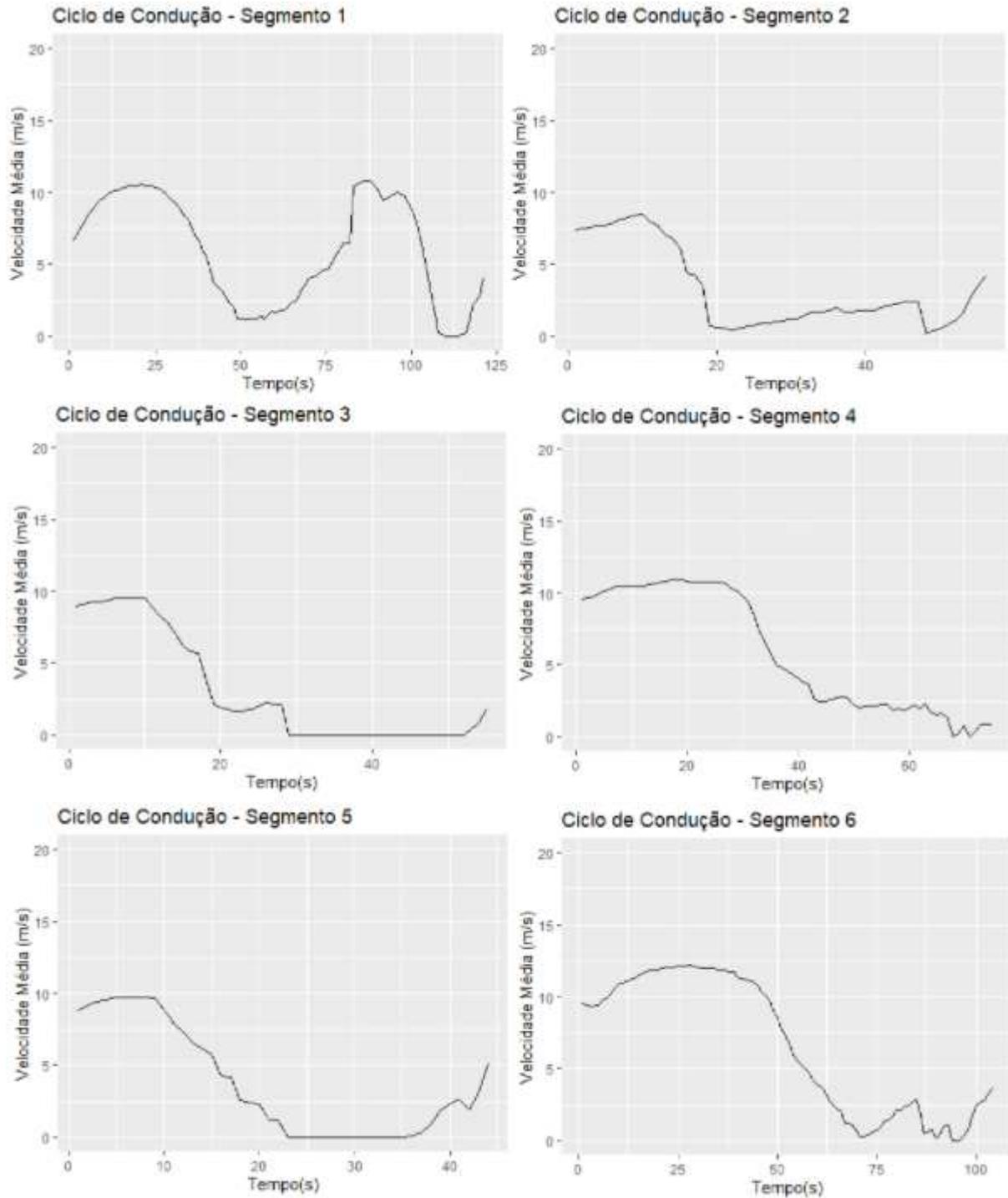
STANDARD, S. A. E. J2711 Recommended Practice for Measuring Fuel Economy and Emissions of Hybrid-Electric and Conventional Heavy-Duty Vehicle, Society of Automotive Engineers, Document No. **J2711**, 2002.

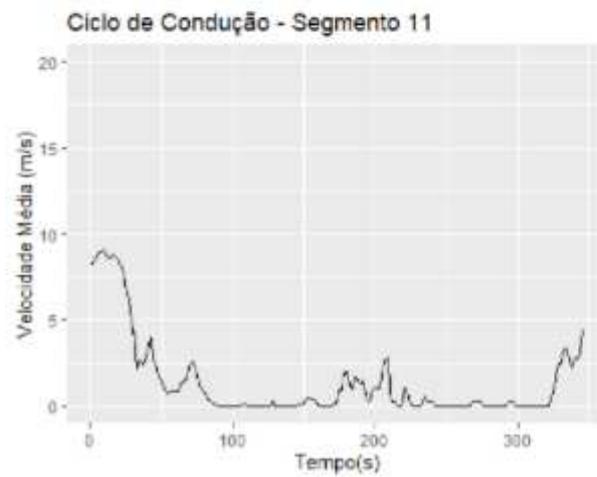
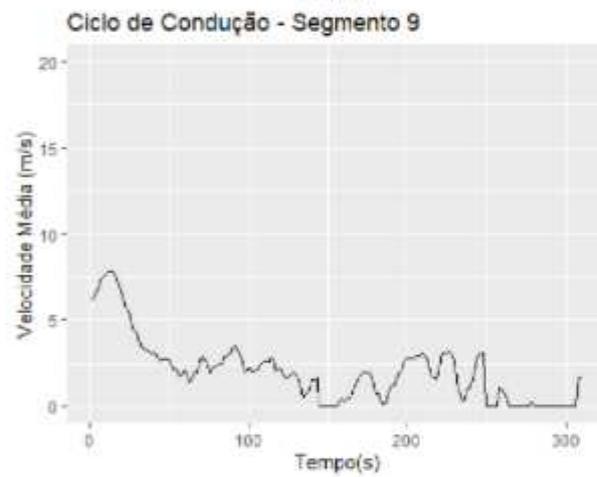
TUTUIANU, M. *et al.* Development of a World-wide Worldwide harmonized Light duty driving Test Cycle. **Technical Report**, v. 03, p. 7–10, 2013.

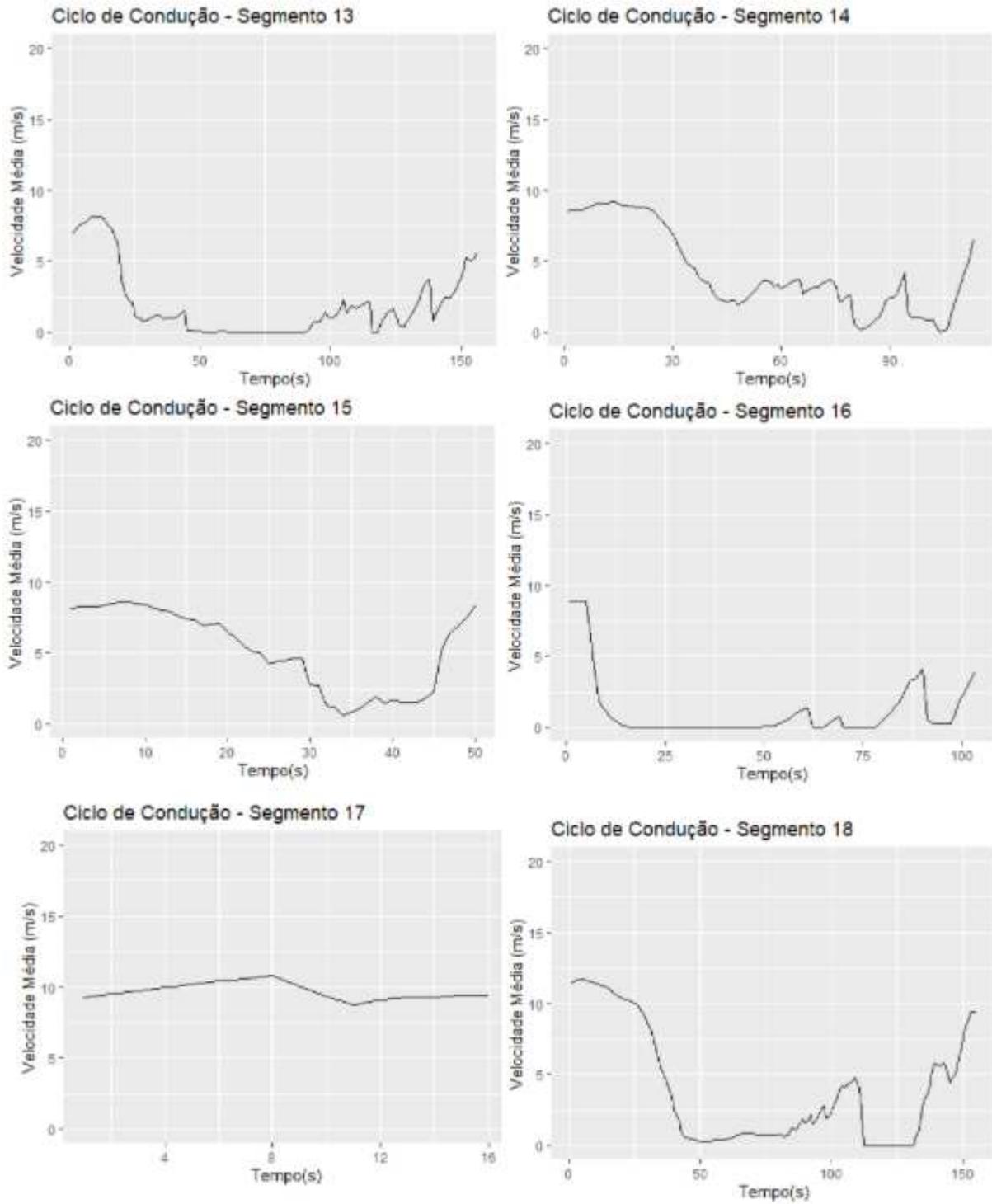
TZIRAKIS, E. *et al.* Vehicle emissions and driving cycles: comparison of the Athens driving cycle (ADC) with ECE-15 and European driving cycle (EDC). **Global NEST Journal**, v. 8, n. 3, p. 282–290, 2013.

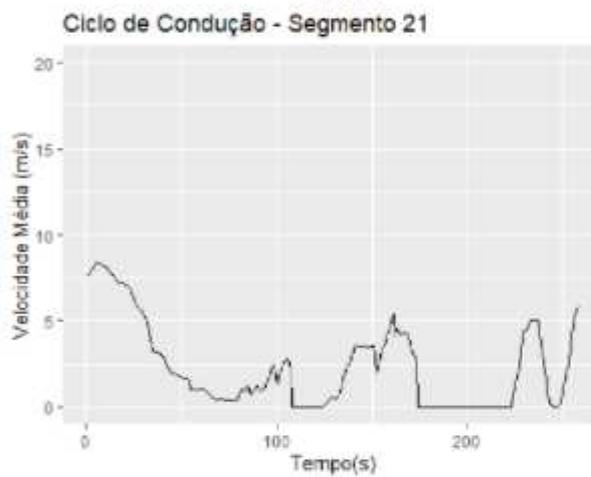
APÊNDICE A – CICLOS DE CONDUÇÃO

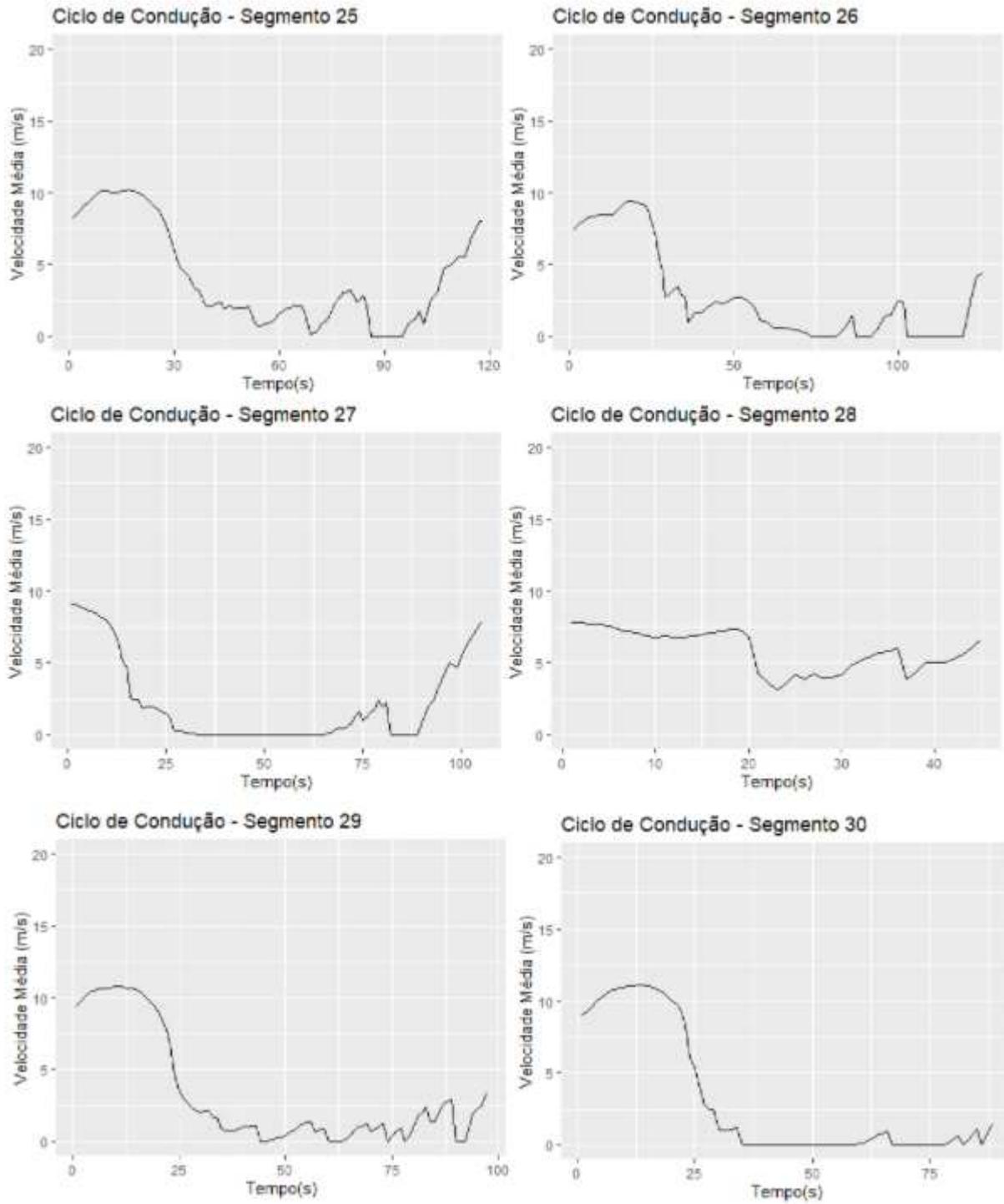
FIGURAS COM OS CICLOS DE CONDUÇÃO CONSTRUÍDOS PARA OS SEGMENTOS DE SENTIDO OESTE-LESTE.

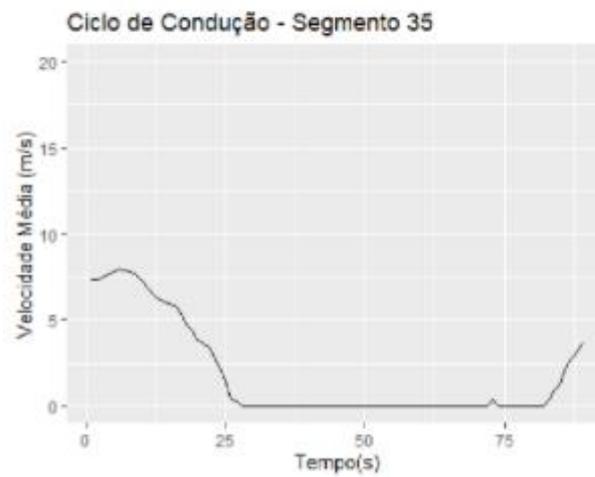












FIGURAS COM OS CICLOS DE CONDUÇÃO CONSTRUÍDOS PARA OS SEGMENTOS DE SENTIDO LESTE-OESTE (VOLTA).

