



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

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS DE
CÁLCULO DA FORÇA RESISTIVA TOTAL AO
DESLOCAMENTO DE UM VEÍCULO LEVE NA
DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E
NA EMISSÃO DE CO₂ NO CICLO URBANO.**

FILIPPE CÉSAR BASTOS

Belo Horizonte, 29 de Junho de 2016

Filipe César Bastos

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS DE
CÁLCULO DA FORÇA RESISTIVA TOTAL AO
DESLOCAMENTO DE UM VEÍCULO LEVE NA
DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E
NA EMISSÃO DE CO₂ NO CICLO URBANO.**

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

Área de Concentração: Projetos Mecânicos

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Horta Gutierrez

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte

Escola de Engenharia UFMG

2016



Universidade Federal de Minas Gerais

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - 31.270-901 - Belo Horizonte – MG

Tel.: +55 31 3499-5145 - Fax.: +55 31 3443-3783

www.demec.ufmg.br - E-mail: cpgmec@demec.ufmg.br

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS DE
CÁLCULO DA FORÇA RESISTIVA TOTAL AO
DESLOCAMENTO DE UM VEÍCULO LEVE NA
DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E
NA EMISSÃO DE CO₂ NO CICLO URBANO.**

FILIPE CÉSAR BASTOS

Dissertação defendida e aprovada em **29 de Junho** de 2016, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia Mecânica", na área de concentração de Projetos Mecânicos.

Prof. Dr. Juan Carlos Horta Gutierrez – UFMG – Orientador

Prof. Dr. Claysson Bruno dos Santos Vimieiro - UFMG - Examinador

**Prof. Dr. Luís Carlos Monteiro Sales – PUC- MG / FIAT Chrysler Automobiles –
Examinador**

AGRADECIMENTOS

A Deus por me propiciar saúde física e mental para elaboração deste trabalho. Ao professor Dr. Juan Carlos Horta Gutierrez por contribuir com sua vasta experiência na área de dinâmica veicular na elaboração deste trabalho sempre de maneira cordial. A todos da minha família que sempre me incentivaram a continuar os estudos e tiveram compreensão nos momentos em que estive ausente.

Meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE GRÁFICOS.....	9
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
NOMENCLATURA.....	14
RESUMO	18
1 INTRODUÇÃO.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 Componentes da resistência total ao deslocamento.....	27
2.1.1 Resistência ao rolamento.....	27
2.1.1.1 Coeficiente de resistência ao rolamento	28
2.1.1.2 Efeitos que afetam a resistência ao rolamento.....	30
2.1.1.2.1 Efeito da velocidade	31
2.1.1.2.2 Efeito da temperatura.....	32
2.1.1.2.3 Efeito da pressão de enchimento	33
2.1.1.2.4 Efeito do ângulo de câmber	33
2.1.1.2.5 Efeito da estrutura do pneu e dos materiais utilizados	34
2.1.1.2.6 Efeito do tamanho do pneu	35
2.1.1.3 Pneus e suas características	36
2.1.1.3.1 Identificação do pneu.....	37
2.1.1.3.2 Raio de rolamento do pneu.....	39
2.1.2 Resistência aerodinâmica	41
2.1.2.1 Resistência de forma ou de pressão.....	41
2.1.2.1.1 Forças aerodinâmicas	42
2.1.2.1.1.1 Força e coeficiente de arrasto	43
2.1.2.1.1.2 Força e coeficiente lateral.....	44
2.1.2.1.1.3 Força e coeficiente de sustentação.....	45
2.1.2.1.2 Área frontal veicular.....	46
2.1.2.2 Resistência de atrito.....	47
2.1.2.3 Perdas por correntes de ar.....	48
2.1.3 Resistência ao aclave.....	48
2.1.4 Resistência inercial	49
2.1.5 Resistência mecânica.....	51
2.2. Determinação da resistência total ao deslocamento	51
2.3 Transferências de cargas longitudinais em acelerações e frenagens	52
2.4 Dinamômetro de chassi	55
2.4.1 O efeito do diâmetro do rolo nas condições de contato.....	57
2.5 Composições dos gases de escapamento	57
2.6 Normas técnicas.....	59

2.6.1 NBR 10312.....	60
2.6.2 NBR 6601.....	64
2.6.3 NBR 7024.....	66
3 METODOLOGIA.....	68
3.1 Determinação da resistência total ao deslocamento.....	68
3.1.1 Veículo utilizado.....	69
3.1.1.1 Instrumentação do veículo.....	71
3.1.2 Monitoramento das condições ambientais.....	72
3.2 Simulação da força resistiva no dinamômetro.....	74
3.3 Determinação da emissão de CO ₂ e do consumo de combustível.....	77
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	80
4.1 Determinação da resistência total ao deslocamento (Teste “Coast Down”).....	80
4.1.1 Determinação dos coeficientes da força resistiva pelo Método dos Mínimos Quadrados.....	86
4.1.2 Determinação dos coeficientes pelo método dos intervalos médios de desaceleração.....	90
4.1.3 Comparação entre as componentes da força resistiva a partir dos coeficientes determinados pelos dois métodos.....	91
4.2 Simulação da força resistiva no dinamômetro.....	97
4.2.1 Simulação da força resistiva pelo dinamômetro com os coeficientes obtidos pelo método dos mínimos quadrados.....	98
4.2.2 Simulação da força resistiva pelo dinamômetro com os coeficientes obtidos pelo método dos intervalos médios de desaceleração.....	99
4.2.3 Comparação entre a força resistiva total obtida no teste “Coast Down” e a obtida no dinamômetro.....	99
4.3 Resultados da determinação da emissão de CO ₂ e consumo de combustível.....	100
4.3.1 Determinação da emissão de CO ₂ e consumo de combustível utilizando os coeficientes do dinamômetro determinados a partir do método dos mínimos quadrados.....	103
4.3.2 Determinação da emissão de CO ₂ e consumo de combustível utilizando os coeficientes do dinamômetro determinados a partir do método dos intervalos médios de desaceleração.....	103
4.3.2 Comparação entre os resultados de determinação do consumo de combustível e da emissão de CO ₂	104
5 CONCLUSÕES.....	108
5.1 Sugestões de trabalhos futuros.....	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
ANEXO A.....	119
APÊNDICE A.....	120
APÊNDICE B.....	131
APÊNDICE C.....	132
ABSTRACT.....	133

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Limite dos principais gases de escapamento veicular.	21
FIGURA 2.1 - Representação das ondas estacionárias e efeito do aumento de pressão à frente e diminuição da pressão atrás da zona de contato.	32
FIGURA 2.2 - Representação do câmber negativo (a) e positivo (b)	35
FIGURA 2.3 - Disposição dos cordoneis das lonas em pneus diagonais (a) e radiais (b).	37
FIGURA 2.4 - Representação de um pneu e suas informações.	38
FIGURA 2.5 - Rolamento do pneu em um piso plano; configuração geométrica (a) e velocidade periférica na zona de contato (b).	40
FIGURA 2.6 - Representação das componentes da força aerodinâmica e momentos atuantes em um veículo.	43
FIGURA 2.7 - Evolução do coeficiente de arrasto dos veículos ao longo dos anos.	44
FIGURA 2.8 – Método de medição da área frontal utilizando laser.	47
FIGURA 2.9 - Representação do escoamento no vão do motor.	48
FIGURA 2.10 - Representação da componente peso agindo sobre o centro de gravidade do veículo.	49
FIGURA 2.11 - Localização do centro de gravidade e forças de reação nos eixos dianteiro e traseiro.	53
FIGURA 2.12 - Representação da transferência de carga longitudinal utilizando o princípio de D'Alembert.	54
FIGURA 2.13 - Dinamômetro de chassi de rolos simples com 48 polegadas de diâmetro, 150 KW da AVL.	56
FIGURA 2.14 - (a) Relação entre o raio do pneu e raio do rolo do dinamômetro ; (b) Relação linear entre a razão das resistências ao rolamento e a razão entre os raios do pneu e dinamômetro.	58
FIGURA 2.15 - Ciclo de condução urbano brasileiro.	66
FIGURA 3.1 - Volkswagen FOX utilizado para os testes	70
FIGURA 3.2 - Laboratório de emissões veiculares do Instituto de Inovação e Tecnologia SENAI – Campus CETEC - Belo Horizonte - Minas Gerais	76
FIGURA 3.3 – Fluxograma do processo de funcionamento do AVC.	78
FIGURA 4.1 - Volkswagen Fox instrumentado com GPS Racelogic Vbox 3i.	81

FIGURA 4.2 - Estação Meteorológica montada à beira da rodovia LMG 674.	81
FIGURA 4.3 - Veículo posicionado para simulação das forças resistivas pelo dinamômetro.	97
FIGURA 4.4 - Veículo instrumentado com os equipamentos necessários para o ensaio de determinação de CO ₂ e do consumo de combustível.	101

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.1 - Curva das forças resistivas em função da velocidade de um veículo.	24
GRÁFICO 2.1 - Gráfico para determinação dos coeficientes necessários à equação para determinação do coeficiente de resistência ao rolamento.	30
GRÁFICO 2.2 - Efeito da velocidade no coeficiente de resistência ao rolamento.	31
GRÁFICO 2.3 - Variação da temperatura e resistência ao rolamento durante o aquecimento.	33
GRÁFICO 2.4 - Efeito da pressão de enchimento no coeficiente de resistência ao rolamento.	34
GRÁFICO 2.5 - Coeficiente da força lateral em função do ângulo relativo e categoria do veículo.	46
GRÁFICO 4.1 - Temperatura da pista e pneus	83
GRÁFICO 4.2 - Temperatura Ambiente Média.	84
GRÁFICO 4.3 - Pressão Ambiente Média.	84
GRÁFICO 4.4 - Velocidade máxima do vento longitudinal.	85
GRÁFICO 4.5 - Umidade Relativa Média do Ar Ambiente.	85
GRÁFICO 4.6 - Forças Resistivas a 39,21 km/h.	95
GRÁFICO 4.7 - Influência das forças resistivas em cada velocidade.	96
GRÁFICO 4.8 - Comparação das médias obtidas do consumo de combustível em cada fase e do resultado final para cada método de cálculo.	105

LISTA DE TABELAS E QUADROS

QUADRO 2.1 - Demonstração dos cálculos e das atribuições das variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 e X_5 .	62
QUADRO 3.1 - Dados do veículo utilizado nos testes.	73
QUADRO 3.2 - Descrição da Estação Meteorológica Automática Portátil.	74
QUADRO 4.1 - Temperatura dos pneus no início e final das desacelerações.	82
TABELA 4.1 - Temperatura da pista e ambiente média.	82
TABELA 4.2 - Valores obtidos da aceleração média.	86
TABELA 4.3 - Valores obtidos de velocidade média.	87
TABELA 4.4 - Valores das velocidades médias ao quadrado.	88
TABELA 4.5 - Velocidade média elevada à quarta potência.	88
TABELA 4.6 - Valores da aceleração média pela velocidade média ao quadrado.	89
TABELA 4.7 - Coeficientes da equação da força resistiva para as seis primeiras desacelerações obtidos pelo método dos mínimos quadrados.	89
QUADRO 4.2 - Média dos coeficientes da equação da força resistiva determinados pelo método dos mínimos quadrados com e sem os 10%.	90
TABELA 4.8 - Coeficientes da equação da força resistiva obtidos através do método que considera dois intervalos de desaceleração para as seis primeiras desacelerações.	91
QUADRO 4.3 - Média dos coeficientes da equação da força resistiva determinados pelo método que considera dois intervalos da desaceleração.	91
TABELA 4.9 - Determinação da força de resistência aerodinâmica a partir dos coeficientes encontrados em cada método.	92
TABELA 4.10 - Força de resistência aerodinâmica provocada pelo vento para os dois métodos considerando valores médios.	93
QUADRO 4.4 - Determinação do Coeficiente de Resistência ao Rolamento, Força de Resistência ao Rolamento e Força Inercial a partir do coeficiente f_0 .	93
TABELA 4.11 - Valor da força de resistência mecânica à 42,16 km/h para os dois métodos de cálculo.	94
TABELA 4.12 - Coeficientes do dinamômetro para simulação das forças resistivas com os coeficientes de entrada obtidos a partir do método dos mínimos quadrados.	98

TABELA 4.13 - Coeficientes do dinamômetro para simulação das forças resistivas com os coeficientes de entrada obtidos a partir do método dos intervalos médios de desaceleração.	99
QUADRO 4.5 - Diferença entre a força resistiva obtida em pista e a obtida em laboratório.	100
QUADRO 4.6 - Temperatura dos pneus e do ambiente do laboratório.	101
TABELA 4.14 - Resultados da emissão de CO ₂ e consumo de combustível para os coeficientes obtidos através do método dos mínimos quadrados.	103
TABELA 4.15 - Resultados da emissão de CO ₂ e consumo de combustível para os coeficientes obtidos através do método dos intervalos médios de desaceleração.	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVC	Amostrador de volume constante
C.G	Centro de gravidade
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural.
DEMEC	Departamento de Engenharia Mecânica.
DIC/DICA	Detector por Ionização de Chama
EMA	Estação Meteorológica Automática Portátil
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
IND	Analisador de Raios Infravermelhos Não Dispersivos
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INOVAR-AUTO	Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
LQ	Luminescência Química
NDIR	Non Dispersive Infra Red
NMHC	Hidrocarbonetos Não Metano
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
PBEV	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
Repet.	Repetitividade
Temp.	Temperatura
THC	Hidrocarbonetos Totais
TNO	Netherlands Organisation for Applied Scientific Research

UFMG

Universidade Federal de Minas Gerais

Vel.

Velocidade

WLTP

World Light Test Procedure

NOMENCLATURA

Letras latinas

g	Aceleração da gravidade [m/s ²]
a	Aceleração do veículo [m/s ²]
h_p	Altura do pneu [m]
h_{CG}	Altura entre o pavimento e o centro de gravidade [m]
A	Área frontal [m ²]
C	Centro do pneu [adimensional]
f_k	Coefficiente básico da resistência ao rolamento [adimensional]
f_0	Coefficiente da equação da força resistiva relacionado com a velocidade de grau 0 corrigido para as condições padrões.
f_1	Coefficiente da equação da força resistiva relacionado com a velocidade de grau 1 corrigido para as condições padrões.
f_2	Coefficiente da equação da força resistiva relacionado com a velocidade de grau 2 corrigido para as condições padrões.
f_0'	Coefficiente da equação da força resistiva relacionado com a velocidade de grau 0.
f_2'	Coefficiente da equação da força resistiva relacionado com a velocidade de grau 2.
f_{0d}	Coefficiente da equação da força resistiva relacionado com a velocidade de grau 0 gerado pelo dinamômetro para as condições padrões. [adimensional]
f_{1d}	Coefficiente da equação da força resistiva relacionado com a velocidade de grau 1 gerado pelo dinamômetro para as condições padrões. [adimensional]
f_{2d}	Coefficiente da equação da força resistiva relacionado com a velocidade de grau 2 gerado pelo dinamômetro para as condições padrões. [adimensional]
C_x	Coefficiente da força de arrasto [adimensional]
C_z	Coefficiente da força de sustentação [adimensional]

C_y	Coeficiente da força lateral [adimensional]
f_r	Coeficiente da resistência ao rolamento [adimensional]
K_p	Coeficiente de correção da pressão para as condições padrões [adimensional]
K_T	Coeficiente de correção da temperatura para as condições padrões [adimensional]
f_v	Coeficiente do efeito da velocidade [adimensional]
K_U	Constante relacionada às perdas e características do material do pneu [adimensional]
C_{II}	Consumo de combustível na fase estabilizada com partida a frio [l/100km]
C_I	Consumo de combustível na fase transitória com partida a frio [l/100km]
C_{III}	Consumo de combustível na fase transitória com partida a quente [l/100km]
C_{urb}	Consumo de combustível urbano [l/100km]
D_{ep}	Diâmetro externo do pneu [m]
L	Distância entre eixos [m]
d_1	Distância entre o eixo dianteiro e o centro de gravidade [m]
D_{II}	Distância percorrida durante a fase estabilizada com partida a frio [km]
D_I	Distância percorrida durante a fase transitória com partida a frio [km]
D_{III}	Distância percorrida durante a fase transitória com partida a quente [km]
x	Eixo do movimento longitudinal [adimensional]
y	Eixo do movimento transversal [adimensional]
z	Eixo do movimento vertical [adimensional]
F_{AC}	Força de aclave [N]
F_A	Força de arrasto [N]
Z_1	Força de reação no eixo dianteiro [N]
Z_2	Força de reação no eixo traseiro [N]
F_{RR}	Força de resistência ao rolamento [N]
F_{xf}	Força de resistência ao rolamento das rodas da frente [N]
F_{xt}	Força de resistência ao rolamento das rodas traseiras [N]
F_i	Força de resistência inercial [N]
F_M	Força de resistência mecânica [N]

F_S	Força de sustentação [N]
F_L	Força lateral [N]
F_T	Força motriz [N]
J_{rot}	Inércia dos componentes rotativos [kg m ²]
ΔV_1	Intervalo de velocidade centrado na velocidade de referência V_1 [m/s]
ΔV_2	Intervalo de velocidade centrado na velocidade de referência V_2 [m/s]
l_p	Largura do pneu [m]
m_e	Massa efetiva [kg]
m	Massa padrão do veículo [kg]
m_r	Massa real do veículo para ensaio [kg]
G	Peso do veículo [N]
P_c	Ponto central de contato do pneu e pista [adimensional]
P_m	Potência efetiva do motor [kW]
P_c	Potência no cubo [kW]
$P_{PERDIDA}$	Potência perdida [kW]
P	Pressão atmosférica [mmHg]
P_0	Pressão atmosférica padrão [mmHg]
R_d	Raio dinâmico do pneu [m]
R_1	Raio do pneu carregado [m]
r	Raio do rolo do dinamômetro [m]
R	Raio nominal do pneu [m]
X_5	Somatório dos produtos entre a aceleração média e os valores de velocidade média [m ² /s ³]
X_1	Somatório dos valores de aceleração média [m/s ²]
X_2	Somatório dos valores de velocidade média [m/s]
X_4	Somatório dos valores de velocidade média à quarta [m/s] ⁴
X_3	Somatório dos valores de velocidade média ao quadrado [m/s] ²
T	Temperatura ambiente [°C]
T_0	Temperatura ambiente padrão [°C]
ΔG	Transferência de carga entre eixos durante movimento [Kg]
V_1	Velocidade de referência 1 [m/s]
V_2	Velocidade de referência 2 [m/s]
V_p	Velocidade do centro do pneu ou da roda [km/h]

V_{wx}	Velocidade do vento na direção longitudinal [m/s]
V	Velocidade linear [m/s]
V	Velocidade linear [m/s]

Letras Gregas

α	Ângulo entre a pista de deslocamento e a horizontal [grau]
γ	Câmbor [grau]
δ	Coefficiente de inércia [adimensional]
λ	Constante de inércia [adimensional]
ρ	Densidade do ar [kg/m ³]
η_m	Rendimento mecânico da transmissão [adimensional]
ω	Velocidade angular do pneu [rad/s]

RESUMO

Estudo que visa à avaliação da influência dos métodos de cálculo da força resistiva total ao deslocamento de um veículo leve na determinação do consumo de combustível e na emissão de CO₂ no ciclo urbano. Para cumprir legislações nacionais e internacionais, grandes partes dos recentes investimentos da indústria automotiva são para melhorar a eficiência energética dos veículos, de maneira geral, reduzindo o consumo de combustível e as emissões dos gases de escapamento. Para determinar o consumo de combustível e quantificar a concentração dos gases de escapamento são realizados ensaios em laboratório que simulam as condições de carga do veículo em pista utilizando o dinamômetro de chassi. Porém, antes do veículo ser testado em laboratório para estes fins é necessário realizar o teste de desaceleração livre em pista, conhecido como “Coast Down” para calcular os coeficientes de uma equação da força resistiva total em função da velocidade que servirão como parâmetros de entrada para o dinamômetro de chassi realizar a simulação e possibilitam quantificar a influencia das componentes da força resistiva total ao deslocamento em cada velocidade imposta pelo veículo. A norma técnica fornece dois métodos de cálculo para se determinar os coeficientes, o primeiro utilizando o método dos mínimos quadrados e o segundo utilizando o método que considera dois intervalos médios de desaceleração, apesar de resultarem em diferentes valores dos coeficientes o que consequentemente influencia no valor da força resistiva total, nos valores das componentes da força resistiva total, na simulação da força resistiva em laboratório na determinação do consumo de combustível e determinação da emissão de CO₂ em laboratório. Por isso se faz necessária uma análise para determinar qual a influência do método de cálculo escolhido nos resultados. Como resultados, foram obtidas diferenças de 5,51% no valor do coeficiente f_0 e de 9,52% no valor do coeficiente f_2 , o que resultou em uma diferença na determinação do consumo de combustível e emissão de CO₂ de 0,54% para o ciclo de condução urbano. No final do estudo foi possível concluir que os métodos de calculo dos coeficientes têm influência na determinação das forças resistivas e consequentemente nos ensaios de determinação do consumo e emissões veiculares, podendo a montadora optar pelo método que lhe for favorável sem infringir as normas regulamentadoras dos ensaios.

Palavras chaves: “Coast Down”, forças resistivas ao deslocamento, simulação das forças resistivas no dinamômetro de chassi, coeficientes da equação da força resistiva total ao deslocamento, determinação do consumo de combustível; determinação da emissão de CO₂.

1 INTRODUÇÃO

O automóvel representa para o homem contemporâneo um dos principais objetos para a mobilidade. Como principal gerador da força motriz do automóvel utiliza-se o motor de combustão interna, máquina térmica cuja função é transformar a energia calorífica do combustível em trabalho mecânico. Porém, durante este processo, parte da energia proveniente do combustível é perdida por diferentes fontes, como exemplo, pelo circuito de refrigeração, por atrito dos componentes móveis, por radiação de calor e pela combustão incompleta, esta última resulta em grandes concentrações de gases poluentes lançados na atmosfera. A força disponibilizada pelo motor é transmitida pelo sistema de transmissão até os pneus, e deve ser maior ou igual à força de resistência total ao deslocamento do veículo para iniciar o seu movimento. A força resistiva total varia de acordo com a velocidade e saber a contribuição de suas componentes permite a melhoria do projeto e do comportamento dinâmico nas diversas situações de utilização do veículo.

De acordo com o IBAMA, o constante aumento da motorização individual decorrente da deficiência dos sistemas de transporte de massa tem intensificado o tráfego nos grandes centros urbanos. Além de causar congestionamentos, com a consequente degradação ambiental devido à poluição do ar provocada pelos veículos, o crescimento do número de veículos provoca sérios danos à saúde humana devendo ser controlados através da adoção de medidas eficazes para minimização da poluição veicular, direta ou indiretamente. Visando conter o avanço das emissões de gases poluentes por automóveis foram criadas legislações e programas regulamentadores a serem atendidos pelas montadoras. No Brasil, em 1986 foi criado o PROCONVE, Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, com o objetivo de reduzir a poluição do ar por fontes móveis. Este programa por meio de resoluções estabelece diretrizes, metodologias de ensaios, limites máximos de emissões divididos em fases do programa que ao passar dos anos são cada vez menores, prazos para desenvolvimento e adaptação, sem limitar qualquer tipo de tecnologia para tais fins para as diferentes categorias de veículos automotores nacionais e importados. A FIG. (1.1) mostra os limites dos principais gases de emissões de escapamento em cada fase do programa.

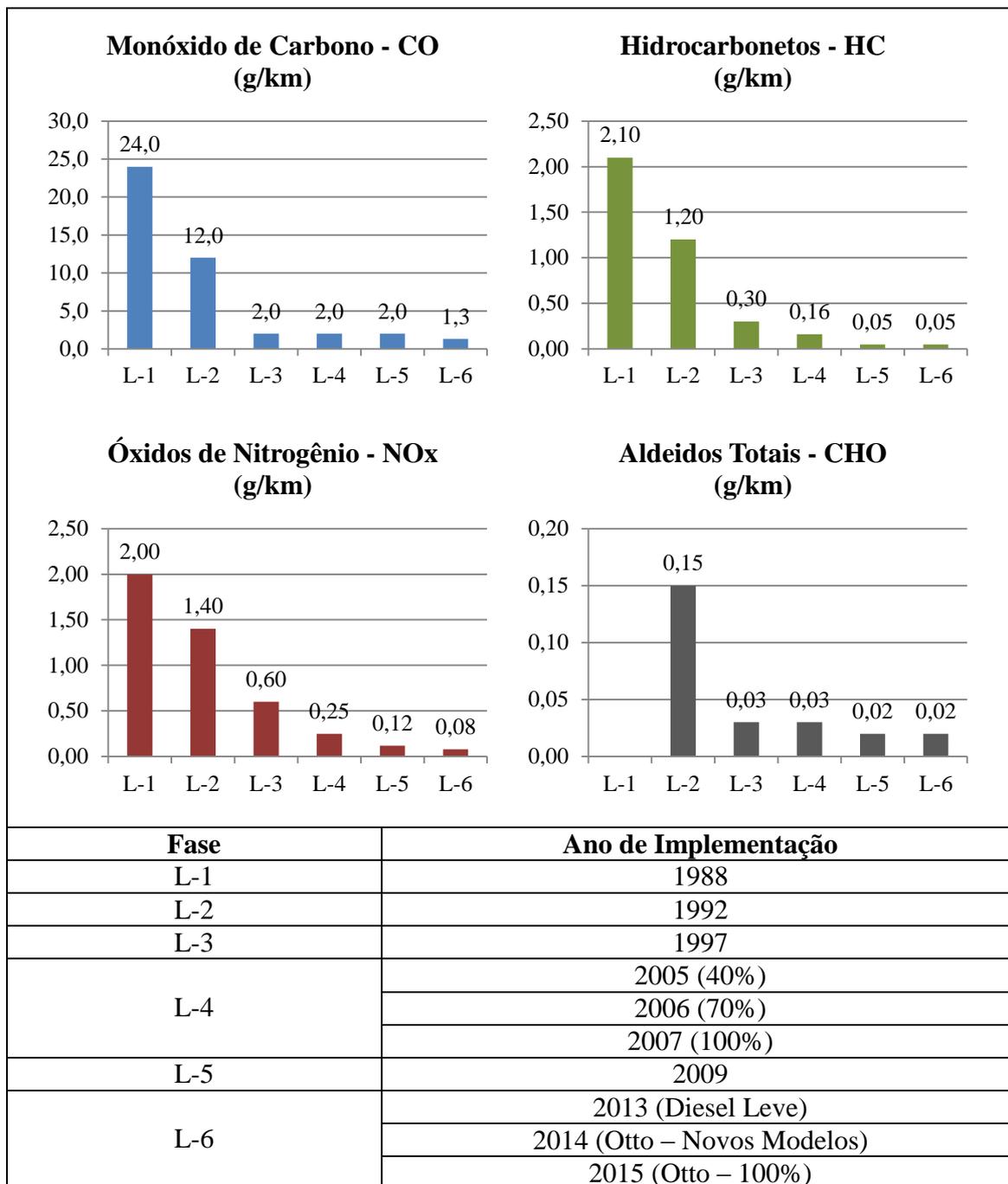


FIGURA 1.1 - Limite dos principais gases de escapeamento veicular.

FONTE : Adaptado, ANFAVEA, 2015

Além do PROCONVE, em 2012 foi criado o INOVAR-AUTO, ou Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores cujo objetivo é criar condições para aumento da competitividade no setor automotivo, produzindo veículos mais econômicos e seguros, incentivando o investimento em engenharia, tecnologia, pesquisa e desenvolvimento. Para atingir a meta de redução de consumo imposto a partir de 2017, as empresas terão

necessariamente que investir em tecnologias mais modernas de produção, motores mais eficientes, melhores formas aerodinâmicas, veículos mais leves, elevando de maneira geral o padrão de qualidade nacional.

Os benefícios para as montadoras com a adesão ao programa podem chegar a crédito presumido de IPI de até 30 % referente a gastos em pesquisa e desenvolvimento e a investimentos em tecnologia industrial básica, engenharia de produção e capacitação de fornecedores. A partir de 2017, os veículos que consumam 15,46% menos terão abatimento de 1% no IPI, e os que consumam 18,84% menos terão direito a abatimento de 2% no IPI.

Além dos dois programas que causaram aumento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento e uma mudança organizacional nas montadoras, recentemente foi lançado pelo governo o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular ou PBEV, onde as montadoras de forma voluntária declaram ao INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, os valores do consumo de combustível dos veículos em ciclo urbano e estrada utilizando Gasool E22, uma mistura de gasolina pura com 22% de etanol anidro, e etanol hidratado (E100) e a partir destes, são classificados dentro da categoria veicular, entre “A” e “E” sendo “A” o mais eficiente e “E” o menos eficiente. Os valores ficam disponíveis para consultas nas páginas eletrônicas do INMETRO, do CONPET, Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural e em etiquetas afixadas opcionalmente nos veículos pelos fabricantes participantes. Assim os consumidores podem utilizar essas informações para adquirir produtos mais eficientes.

Todos estes programas resultam de maneira geral no avanço tecnológico veicular e podem beneficiar tanto o consumidor que procura um produto mais seguro, confortável, de preço mais acessível e ecologicamente correto, quanto às montadoras que podem obter descontos na carga tributária de seus produtos, viabilizar produtos de escala mundial reduzindo custos produtivos e conquistar novos clientes com produtos mais eficientes e ecologicamente corretos.

Para se determinar o consumo de combustível e as emissões veiculares de um modelo de veículo a serem declaradas nestes programas existem procedimentos prescritos em normas técnicas que padronizam toda a execução para que o resultado obtido seja validado. De acordo com as normas vigentes NBR 6601, NBR 7024 e NBR 10312, a execução dos ensaios para determinação das emissões veiculares dos gases de

escapamento e do consumo de combustível para veículos leves, veículos com até 3500 kg de massa total, devem ser realizados em laboratório com condições controladas utilizando um dinamômetro de chassi para servir de pavimento e simular a resistência total ao deslocamento em função da velocidade, um amostrador de volume constante para a sucção dos gases de escapamento e um conjunto de analisadores de gases para mensurar a concentração dos gases presentes na amostra. Outros equipamentos podem também ser usados para se realizar outras análises durante os testes em laboratório.

O primeiro procedimento consiste em determinar a resistência total ao deslocamento em pista utilizando um teste, conhecido como “Coast Down”. Thompson (1989) diz que o “Coast Down” ou teste de determinação da resistência total ao deslocamento por desaceleração livre é talvez uma das técnicas mais antigas para se determinar as forças atuantes em um veículo em função da velocidade. Este ensaio consiste em acelerar o automóvel a uma velocidade acima de 105 km/h, desengrenar o trem de marchas deixando-o na posição neutra e registrar a desaceleração livre, sem interferências dos freios, até que se atinja velocidade igual ou inferior a 30 km/h. A partir das marcações de tempo e velocidade, a norma NBR 10312 fornece dois métodos para calcular os coeficientes de uma equação da força resistiva que são utilizados como dados de entrada no software de gerenciamento do dinamômetro e possibilitam obter a curva das forças resistivas em função da velocidade do veículo, como exemplificado no GRA. (1.1). Com os coeficientes determinados é possível calcular a influência de cada força resistiva ao deslocamento do veículo em função da sua velocidade e prever o comportamento dinâmico nas diversas situações de rodagem.

Após a determinação dos coeficientes da equação da força resistiva, o segundo procedimento consiste na simulação dos tempos de desaceleração obtidos em pista pelo dinamômetro, ou seja, a cada velocidade desenvolvida pelo veículo o dinamômetro deve simular a resistência total ao deslocamento correspondente sendo permitida por norma, uma diferença de até 2% entre os valores de pista e os valores do dinamômetro.

A correta execução desses dois procedimentos está diretamente relacionada com a obtenção de resultados representativos das condições de utilização do usuário do veículo em pista. Um estudo realizado pela TNO (2014), contratado pela União Europeia e pelo ministério de infraestrutura holandês constatou que nos últimos anos a diferença entre a emissão de dióxido de carbono (CO₂) e o consumo de combustível

médios obtidos em laboratórios para o que são obtidos pelos consumidores em utilização normal tem aumentado.

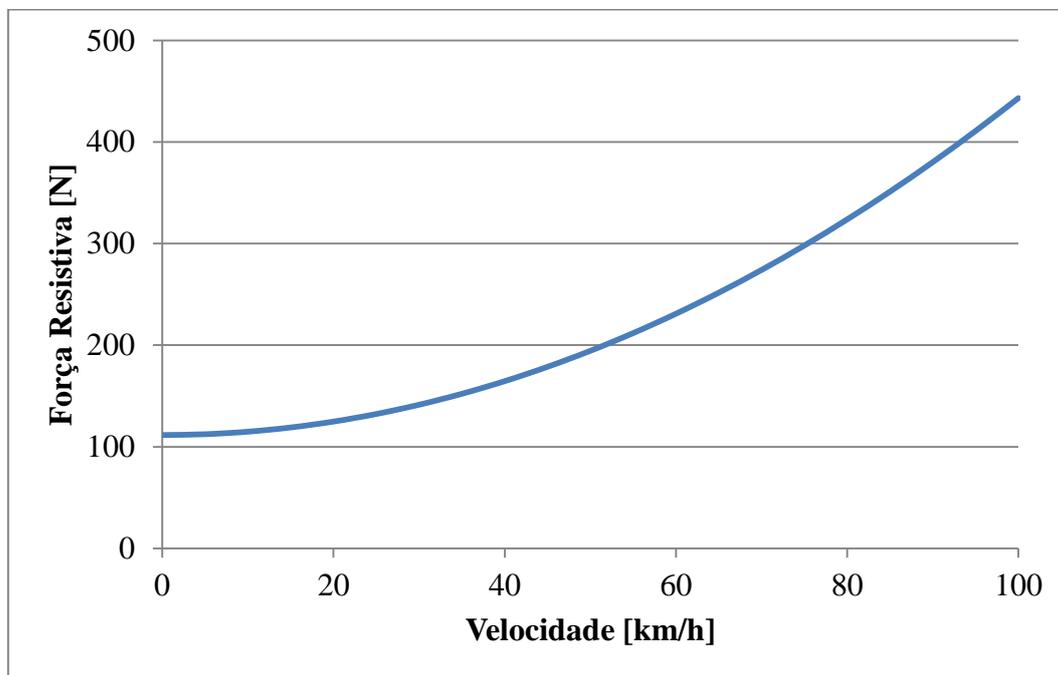


GRÁFICO 1.1 - Curva das forças resistivas em função da velocidade de um veículo.

FONTE: Dados pessoais.

Uma diferença entre os resultados obtidos em laboratório e os obtidos em pista é esperada, já que no laboratório as condições são próximas das ideais, mas segundo Kadijk et. al (2014), existem várias razões para o aumento dessa diferença, sendo as mais importantes: as diferentes condições ambientais dos testes realizados em laboratório e dos que são experimentados pelos consumidores na utilização diária; realização de apenas um teste de determinação da força resistiva ao deslocamento e cálculo dos coeficientes para um mesmo modelo de veículo com diferentes configurações de opcionais; desenvolvimento de tecnologias que apresentam grandes ganhos nos ensaios em laboratório e poucos na utilização diária do consumidor; ciclo de condução para simulação não representativo das condições de utilização em pista. Um novo ciclo de condução em laboratório, novas regulamentações internacionais, novos procedimentos de execução e fiscalização estão sendo desenvolvidos por um grupo especializado. Esse conjunto de novas práticas é chamado de WHTP ou “World Harmonized Test Procedure” cujo objetivo é diminuir a diferença entre os resultados obtidos em laboratório e os obtidos na utilização real obtendo valores mais

representativos que realmente servirão para que o consumidor os utilize para definir a compra de um veículo.

Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é determinar os coeficientes da equação da força resistiva a partir dos dois métodos prescritos em norma, simular em dinamômetro a força de resistência total em função da velocidade e analisar a influência das diferentes metodologias de cálculo dos coeficientes na determinação do consumo de combustível e emissão de CO₂.

Objetivos Específicos

- a) Determinar os tempos de desaceleração através do teste “Coast Down” para os dois sentidos de pista controlando todos os parâmetros do ensaio;
- b) Calcular os coeficientes da equação da força resistiva total utilizando os diferentes métodos prescritos em norma;
- c) Analisar a influência de cada força resistiva na força de resistência total ao deslocamento em função da velocidade;
- d) Simular as forças resistivas a partir dos coeficientes da equação da força resistiva para os diferentes métodos e obter os novos coeficientes gerados pelo dinamômetro;
- e) Determinar o consumo de combustível e a emissão de CO₂ a partir do ciclo de condução urbano brasileiro com a utilização dos coeficientes da força resistiva obtidos no dinamômetro para os diferentes métodos de cálculo.
- f) Analisar o impacto da utilização dos diferentes métodos de cálculo dos coeficientes no resultado de classificação da eficiência energética e emissões de gases de escapamento.

Justificativa

Com a crescente preocupação por parte da população e dos governos com a preservação ambiental foram lançados programas, alguns de participação obrigatória,

outros de adesão voluntária por parte das montadoras, de controle e de incentivo à redução de gases poluentes e melhoria da eficiência energética do veículo, de maneira geral. Para produzir carros mais eficientes, as montadoras investem em utilização de novos materiais para redução de peso, utilização de pneus com menor arrasto, melhorias aerodinâmicas, implementações eletrônicas para melhor controle dos parâmetros de combustão e funcionamento do motor, “downsizing” dos motores, utilização de turbos e superchargers, entre outros. A eficiência energética veicular é determinada com a realização de ensaios em laboratório com ciclos de condução pré-estabelecidos em normas técnicas e utilizando um dinamômetro de chassi para simular as forças resistivas ao deslocamento do veículo em função da velocidade e um conjunto de equipamentos específicos para mensurar o consumo de combustível e as emissões dos gases de escapamento. Porém, antes dos ensaios em laboratório é necessário determinar a força resistiva total por desaceleração livre em pista, realizando um teste conhecido como “Coast Down” para cálculo dos coeficientes de uma equação da força resistiva em função da velocidade que serão utilizados, juntamente com a massa, como parâmetros de entrada para simulação do dinamômetro. Com as desacelerações obtidas a norma técnica regulamentadora permite o cálculo dos coeficientes da equação da força resistiva em função da velocidade utilizando dois métodos distintos, o método dos mínimos quadrados e o método dos intervalos médios de desaceleração, o que pode influenciar na determinação do valor da força resistiva total em função da velocidade e nas forças que a compõem, no procedimento de simulação da força resistiva no dinamômetro e conseqüentemente nos ensaios de determinação do consumo de combustível e emissão de CO₂. Caso os valores encontrados sejam diferentes, as montadoras podem utilizar qualquer um dos métodos de cálculo dos coeficientes para obter os resultados de determinação do consumo e emissões a serem divulgados nos diversos programas de melhoria da eficiência energética.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica contendo os embasamentos teóricos, fundamentos científicos e explicações de conceitos que serão úteis no entendimento e desenvolvimento dessa dissertação.

2.1 Componentes da resistência total ao deslocamento

A resistência total ao deslocamento resulta do somatório das forças que se opõem ao movimento do veículo a uma determinada velocidade. Para que haja aumento da velocidade, a força gerada no motor e transmitida ao solo por atrito através do conjunto roda-pneu deve ser superior à resistência total ao deslocamento. Compõem a resistência total ao deslocamento:

- Resistência ao rolamento
- Resistência aerodinâmica
- Resistência ao aclone
- Resistência inercial
- Resistência mecânica

2.1.1 Resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento (rolling resistance) é definida pela norma internacional ISO 18164 (2005) como sendo a energia consumida pelo pneu por unidade de distância percorrida e ocorre principalmente devido às propriedades dos componentes de borracha e pneumáticos presentes na sua construção. Segundo Leal et. al. (2012) quando em contato com o solo, o pneu por apresentar em sua composição um material visco-elástico, deforma-se pela carga exercida tornando-se plano na zona de contato, com isso, os cordões e lonas presentes na sua composição se deslocam. As repetidas deformações causam perda de energia devido ao fenômeno de histerese e são dissipadas na forma de calor. Gillespie (1992) enumera sete mecanismos responsáveis pela resistência ao rolamento:

1. Perda de energia devido à deflexão lateral do pneu perto da área de contato;
2. Perda de energia devido à deflexão da banda de rodagem;
3. Deslizamentos na área de contato;
4. Deslizamento do pneu na direção longitudinal e direção lateral;
5. Deflexão da superfície do solo;
6. Arrasto do ar no interior e exterior do pneu;
7. Perda de energia em impactos;

De acordo com Páscoa et al. (2012), em uma visão generalizada, a resistência ao rolamento pode representar até 75 % de toda energia perdida por um veículo durante o movimento, a depender da velocidade desenvolvida.

A resistência total ao rolamento é dada pela soma da resistência ao rolamento de todas as rodas:

$$F_{RR} = F_{xf} + F_{xt} = f_r G \cos \alpha \quad (2.1)$$

Sendo:

F_{RR} – Força de resistência ao rolamento

F_{xf} – Força de resistência ao rolamento das rodas da frente

F_{xt} – Força de resistência ao rolamento das rodas traseiras

f_r - Coeficiente da resistência ao rolamento

G - Peso do veículo

α - Ângulo entre a pista de deslocamento e a horizontal

2.1.1.1 Coeficiente de resistência ao rolamento

Equações para estimar o coeficiente de resistência ao rolamento têm sido desenvolvidas ao longo dos anos, porém, seria praticamente inviável considerar em apenas uma equação todas as variáveis envolvidas no processo de contato pneu e solo. Estudos das perdas provenientes do rolamento de um pneu de borracha, (Clark et. al. citado por GILLESPIE, 2012), fornecem a seguinte equação:

$$f_r = \frac{F_{RR}}{G} = K_U \frac{G}{D_{ep}} \sqrt{\frac{h_p}{l_p}} \quad (2.2)$$

Sendo:

f_r – Coeficiente de resistência ao rolamento

F_{RR} – Força de resistência ao rolamento

G – Força peso

K_U – Constante relacionada às perdas e características elásticas do material do pneu

D_{ep} – Diâmetro externo do pneu

h_p – Altura do pneu

l_p – Largura do pneu

Na EQUAÇÃO (2.2) K_U é apenas estimada. Analisando essa formulação, pode se concluir que quanto maior a razão entre a altura e a largura do pneu maior será o coeficiente de resistência ao rolamento.

O instituto de tecnologia de Stuttgart, da Alemanha, desenvolveu uma equação para caracterizar o coeficiente de resistência ao rolamento para veículos de passeio em pisos de concreto, que pode ser vista abaixo. (BRUNETTI, 2012)

$$f_r = f_k + 3,24 f_v \left(\frac{V_p}{161} \right)^{2,5} \quad (2.3)$$

Sendo:

f_r – Coeficiente de resistência ao rolamento

f_k – Coeficiente básico da resistência ao rolamento

f_v – Coeficiente do efeito da velocidade

V_p – Velocidade do centro do conjunto roda-pneu

O GRÁFICO (2.1) é apresentado por BRUNETTI (2012) para determinação dos coeficientes f_k e f_v .

Outra forma para determinação do coeficiente de resistência ao rolamento para veículos de passeio com velocidade máxima de 131 km/h é através da EQ. (2.4), a qual depende da variação linear da velocidade. (BRUNETTI, 2012)

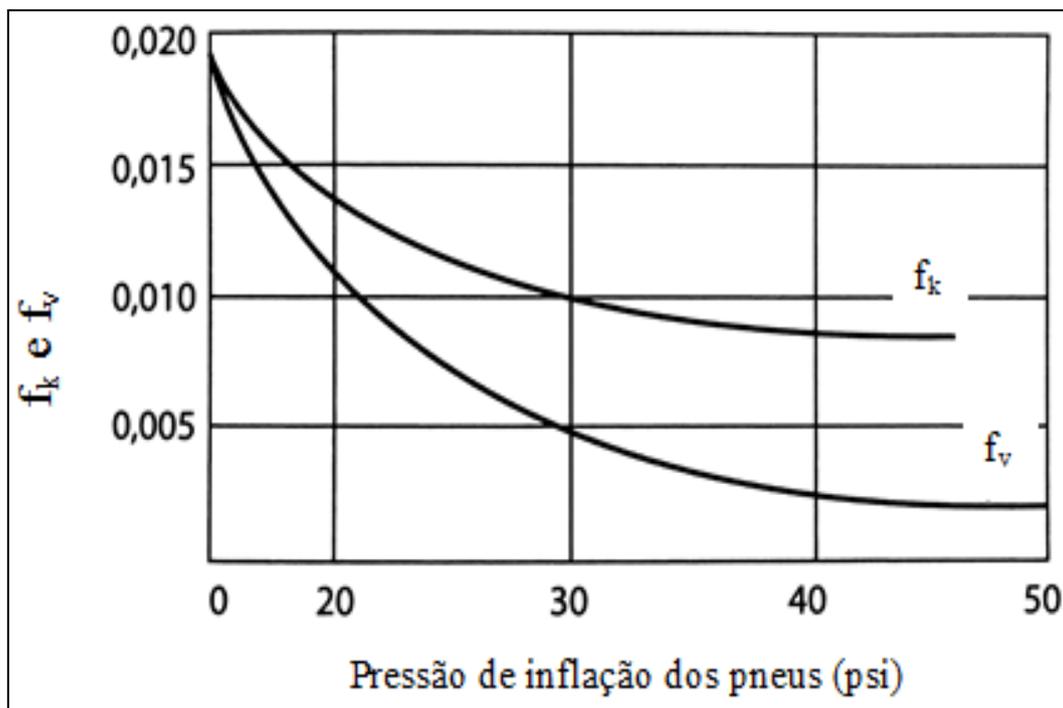


GRÁFICO 2.1 - Gráfico para determinação dos coeficientes necessários à equação para determinação do coeficiente de resistência ao rolamento.

FONTE: BRUNETTI, 2012, p. 233

$$f_r = 0,01 \left(1 + \frac{V}{579,6} \right) \quad (2.4)$$

Onde f_r é o coeficiente de resistência ao rolamento e V é a velocidade em m/s.

2.1.1.2 Efeitos que afetam a resistência ao rolamento

O coeficiente de resistência ao rolamento é adimensional e representa os efeitos das propriedades físicas do pneu e solo. Segundo Genta (2006) este coeficiente depende de vários parâmetros como a velocidade de cruzeiro, a pressão de enchimento, a força normal, o tamanho do pneu, o tamanho da zona de contato, a estrutura do pneu, o material construtivo do pneu, a temperatura, as condições do solo, ângulo de câmber e as forças aplicadas na roda. Serão apresentados os principais parâmetros com influência no coeficiente da resistência ao rolamento.

2.1.1.2.1 Efeito da velocidade

O coeficiente de resistência ao rolamento aumenta com a velocidade do veículo, mas segundo Gillespie (1992) este pode ser considerado constante à velocidades inferiores a aproximadamente 100 km/h como demonstrado no GRA. 2.2 para os pneus radiais, diagonais cintados e diagonais.

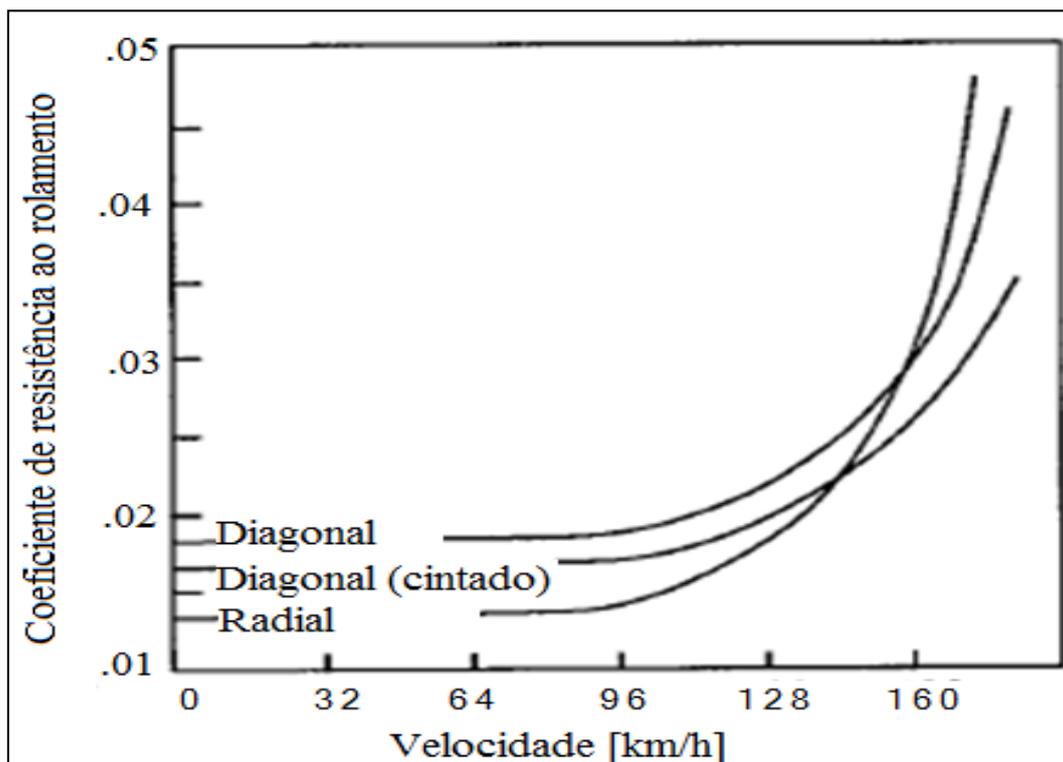


GRÁFICO 2.2 - Efeito da velocidade no coeficiente de resistência ao rolamento.

FONTE: Adaptado de Gillespie, 1992, p. 114.

A partir dessa velocidade ocorre um aumento exponencial do coeficiente de resistência ao rolamento, essa velocidade é conhecida como velocidade máxima do pneu. Esse comportamento pode ser justificado pelo aumento das vibrações e deflexões no corpo do pneu ocorrendo ondas estacionárias. As ondas estacionárias propagam pela circunferência do pneu a partir da zona de contato. Esse fenômeno pode ser explicado segundo Genta (2006) pelo fato do comprimento das ondas não serem muito diferentes do comprimento da zona de contato, como demonstrado na FIG. (2.1). Na parte traseira da zona de contato a banda de rodagem tem uma tendência de levantar do piso ou de

diminuir a pressão sobre essa região o que conseqüentemente aumenta a pressão na região mais à frente da zona de contato.

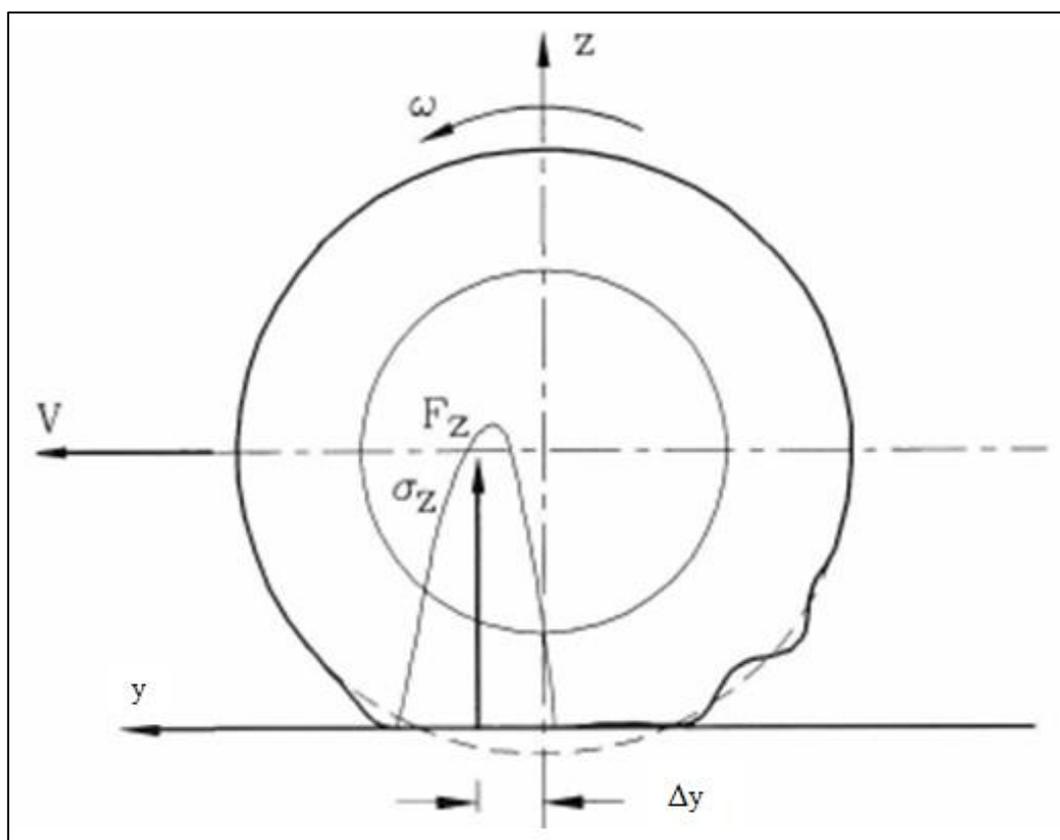


FIGURA 2.1 - Representação das ondas estacionárias e efeito do aumento de pressão à frente e diminuição da pressão atrás da zona de contato.

FONTE: Genta, 2006, p. 46.

2.1.1.2.2 Efeito da temperatura

A temperatura do pneu tem um significativo efeito na resistência ao rolamento, pois está diretamente relacionada com a deflexão e a perda de energia dos materiais do pneu. De acordo com Gillespie (1992), em condições frias, o que ocorre em situações em que os pneus iniciam o rolamento, a resistência ao rolamento é alta e diminui com o aumento da temperatura. O GRA. (2.3) demonstra a relação entre a variação da temperatura, a distância percorrida e a variação da resistência ao rolamento.

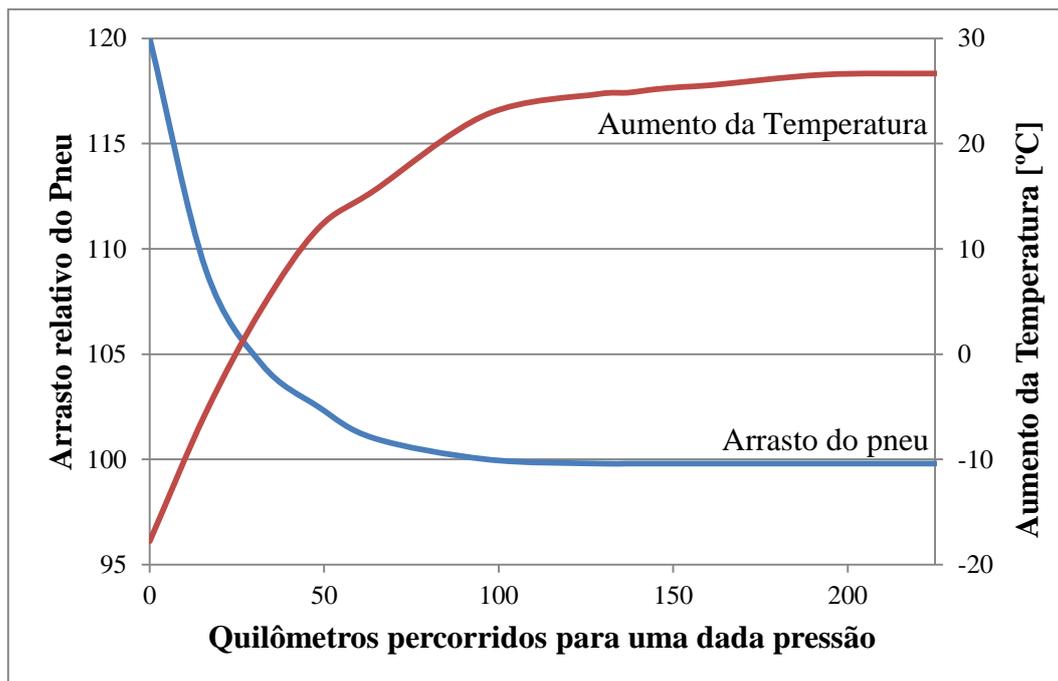


GRÁFICO 2.3 - Variação da temperatura e resistência ao rolamento durante o aquecimento.

FONTE: Adaptado de Gillespie, 1992, p. 112.

2.1.1.2.3 Efeito da pressão de enchimento

A pressão de enchimento influencia a elasticidade dos pneus e em combinação com a carga, determina as deformações nas paredes laterais e a área de contato com o solo. O efeito na resistência ao rolamento também depende das características do solo. (Gillespie, 1992). Em pavimentos rígidos, como estradas e ruas, o coeficiente da resistência ao rolamento diminui com o aumento da pressão de inflação devido à redução da flexão do pneu. Já em solos macios, como areais, altas pressões de inflação resultam no aumento da penetração do pneu no solo e conseqüentemente aumento do coeficiente de resistência ao rolamento.

O GRA. (2.4) mostra a variação do coeficiente da resistência ao rolamento com a variação da pressão de enchimento para três diferentes tipos de solo.

2.1.1.2.4 Efeito do ângulo de câmbor

Câmbor é o nome dado ao ângulo formado entre a inclinação do plano da roda em relação à linha vertical imaginária que passa pelo centro de contato pneu/pista.

Se a parte superior da roda é inclinada em direção ao centro do veículo o ângulo de câmbor é negativo, como pode ser visualizado na FIG. (2.2a), caso a inclinação da parte superior da roda seja em direção a se afastar do veículo o câmbor é positivo, como pode ser visualizado na FIG. (2.2b).

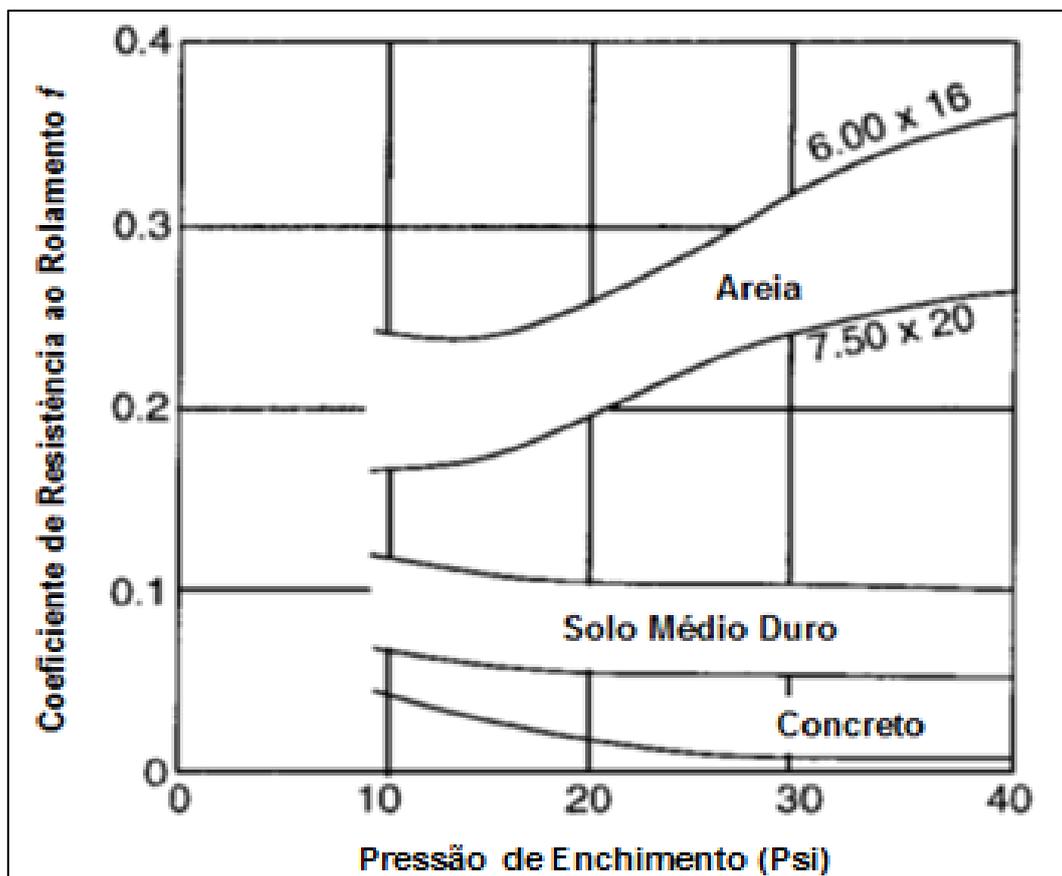


GRÁFICO 2.4 - Efeito da pressão de enchimento no coeficiente de resistência ao rolamento.

FONTE: Adaptado Gillespie, 1992, p. 113.

Segundo Leal et. al (2012) um pequeno câmbor negativo nas rodas do eixo dianteiro é favorável pela leve convexidade das pistas, com isso os pneus rodam mais perpendiculares, aumentando a zona de contato e diminuindo o escorregamento dos pneus e conseqüentemente a perda de energia e o desgaste.

2.1.1.2.5 Efeito da estrutura do pneu e dos materiais utilizados

O tipo de estrutura construtiva do pneu tem uma importante influência na determinação da resistência ao rolamento e da velocidade máxima. Segundo Genta

(2006) os pneus radiais possuem valor do coeficiente de resistência ao rolamento em torno de 20% menor que os pneus diagonais além de apresentarem maiores velocidades críticas. Mesmo entre pneus do mesmo tipo, é possível observar diferenças significativas na resistência ao rolamento alterando a quantidade de cordões, quantidade de lonas e dos desenhos dos frisos.

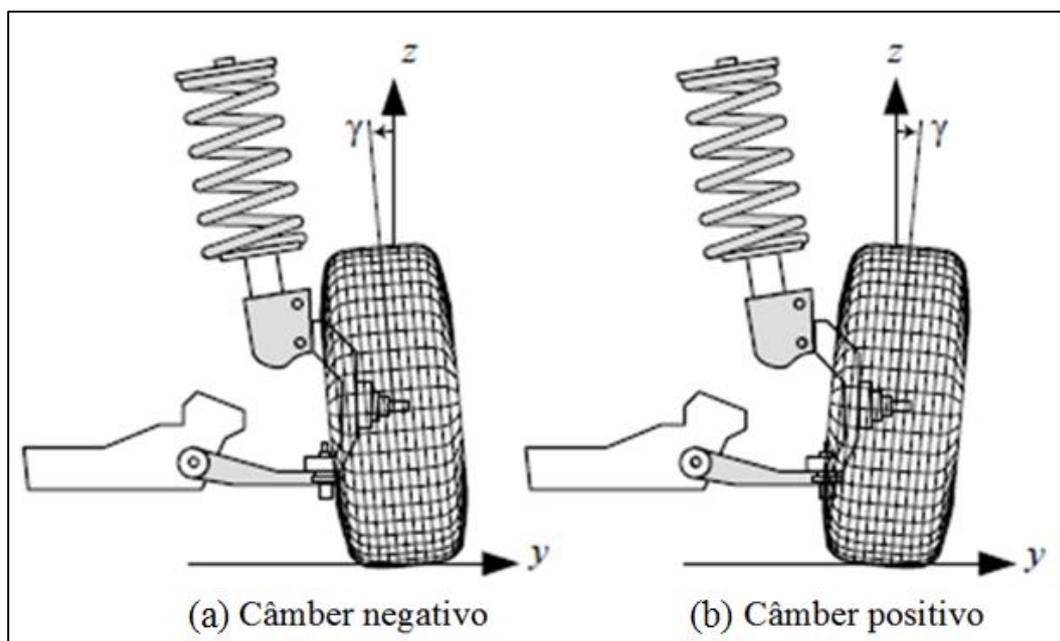


FIGURA 2.2 - Representação do câmbio negativo (a) e positivo (b)

FONTE: Adaptado de Jazar, 2008, p. 484.

Os materiais utilizados também tem uma grande importância como a composição da borracha utilizada que apresentam diferentes valores de amortecimento interno. Genta (2006) diz que borrachas naturais apresentam menores amortecimentos se comparadas com borrachas sintéticas resultando em uma menor resistência ao rolamento e em menores velocidades críticas.

2.1.1.2.6 Efeito do tamanho do pneu

O raio do pneu e a razão entre a altura e a largura possuem influência na resistência ao rolamento. Um aumento do raio e uma diminuição dessa razão provocam diminuição da resistência ao rolamento e aumento da velocidade máxima. A diminuição da razão é favorável porque provoca aumento da rigidez das paredes e uma diminuição

da deformação sob carga, que por sua vez reduz as perdas por histerese. Segundo Genta (2006) valores de 0,4 são comumente usados para pneus radiais usados em carros velozes enquanto no passado, foram usados valores de 0,7 a 0,8.

2.1.1.3 Pneus e suas características

Os pneus são considerados elementos de transmissão de força já que transmitem as forças geradas pelo movimento do veículo para a pista e vice versa. Nos primeiros automóveis, os pneus apresentavam seção quase circular e eram confeccionados praticamente de uma grossa camada de borracha. Mas com o aumento das cargas transportadas, maiores potências e velocidades impostas pelo veículo houve a necessidade da mudança na sua concepção, e atualmente, o pneu apresenta uma estrutura complexa com influência direta no comportamento dinâmico do automóvel. Os pneus devem suportar forças verticais geradas pela massa em suspensão do veículo, forças longitudinais geradas durante acelerações e frenagens e forças laterais geradas durante alterações de trajetória ou pelas ações do vento. A estrutura rígida da roda feita pelo disco e o aro é rodeada pelo pneu e a câmara de ar. A câmara de ar pode estar ausente, o qual o pneu encaixa hermeticamente na roda e mantém o ar pressurizado.

Os pneus podem ser divididos em duas grandes partes analisando a sua construção e concepção, a carcaça e a banda de rodagem. A carcaça é a parte responsável por suportar a pressão realizada pelo ar e deve apresentar pequenas deformações quando imposto alguma solicitação. Canale (1989) diz que a carcaça é formada por um conjunto de lonas de tecidos e cordonéis de fibras de matérias como o nylon, poliéster, kevlar, fibra de vidro e aço impregnados com borracha para evitar o contato direto entre os componentes e reduzir o atrito. Com a variação do ângulo de inclinação dos cordonéis das lonas, tem-se alteração na altura do pneu e de sua rigidez radial, afetando assim o desempenho e conforto. Nas extremidades das lonas utilizam-se cabos de aços envolvidos com borracha segundo Leal et. al. (2012) com objetivo de assentar corretamente o pneu na roda e ajudar no processo de transferência de forças.

A banda de rodagem do pneu é a parte que entra em contato com o solo e por atrito transmite as forças sejam elas longitudinais ou transversais. De um modo geral, o comportamento da banda de rodagem depende da composição da borracha utilizada e do desenho das ranhuras. Devem garantir a maior aderência

independentemente do piso, propiciar uma drenagem adequada quando em pista molhada provocando o mínimo possível de ruídos. Para tal, para utilização urbana, são adotadas ranhuras diagonais por melhor absorver esforços resultantes de diversas manobras realizadas durante o deslocamento de um veículo.

Os pneus podem ser classificados em diagonais e radiais. O pneu é chamado diagonal quando as lonas que compõem a carcaça são sobrepostas e cruzadas entre si, como pode ser visto na FIG. (2.3a). Neste tipo de construção, os flancos são solidários à banda de rodagem. Quando o pneu roda, cada flexão dos flancos é transmitida à banda de rodagem, conformando-a ao solo. No pneu radial, os fios da carcaça estão dispostos em arcos perpendiculares ao plano de rodagem e orientados em direção ao centro do pneu. A estabilidade no piso é obtida através de uma cinta composta de lonas sobrepostas como demonstrado na FIG. (2.3b). Por ser uma carcaça única, não existe fricção entre lonas apenas flexão, o que evita a elevação da temperatura interna do pneu (LEAL, et. al., 2012).

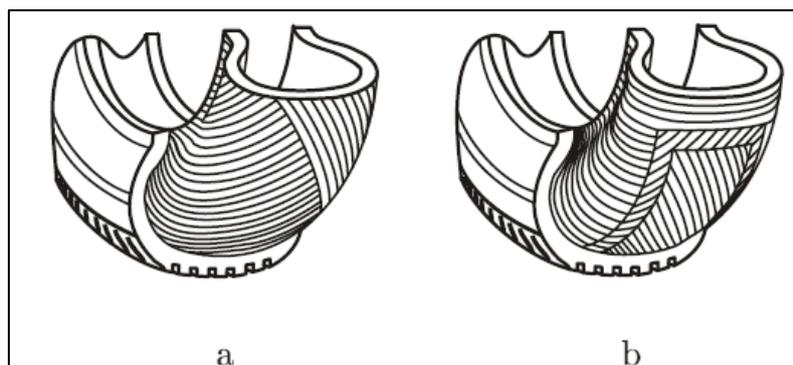


FIGURA 2.3 - Disposição dos cordões das lonas em pneus diagonais (a) e radiais (b).

FONTE: Adaptado de Leal et. Al, 2012, p. 3.

2.1.1.3.1 Identificação do pneu

As legislações dos países exigem que os fabricantes de pneus coloquem informações, não necessariamente padronizadas, na parede lateral de todos os pneus fabricados. Essas informações devem caracterizar e identificar os pneus em certificados de segurança e de controle de produção. A FIG. (2.4) demonstra a localização das principais informações contidas nos pneus.



FIGURA 2.4 - Representação de um pneu e suas informações.

FONTE: Itaro – Artigos¹.

Sendo:

- 1 - Tipo de veículo: P para veículos de passeio e LT para utilitários leves (Identificação utilizada no Brasil para veículos leves).
- 2 - Largura do pneu: Este número de três dígitos indica a largura nominal em milímetros do pneu.
- 3 - Perfil do pneu: Esse número de dois dígitos fornece a razão percentual entre a altura e a largura do pneu.
- 4 - Tipo de construção da lona: R para lonas radiais e D para diagonais.
- 5 - Diâmetro do aro: Número de dois dígitos que indica o diâmetro do aro ou da roda em polegadas.

¹ Disponível em: <http://faq.itaro.com.br/hc/pt-br/articles/202470643-O-que-significam-as-inscri%C3%A7%C3%B5es-na-lateral-do-meu-pneu->. Acesso em Setembro de 2015.

- 6 - Índice de carga e velocidade máxima: Número de dois ou três dígitos indica a capacidade de carga que cada pneu pode suportar vem acompanhado de uma letra que indica a partir de uma classificação tabelada a velocidade máxima do pneu.
- 7 - Pressão máxima recomendada: pressão máxima de ar inserida em condições normais de direção.
- 8 - Marca do pneu.
- 9 - TWI: Indicador de desgaste: Pequenos blocos da banda de rodagem e indicam quando o pneu deve ser trocado.
- 10 - Modelo do pneu.
- 11 - Descrição da construção da carcaça e paredes laterais: Indica o número de camadas de cordões além do tipo dos materiais usados como o aço, nylon, poliéster e outros.
- 12 - Certificação DOT: Apresentam dois números ou letras que representam o código da fábrica onde foi fabricado e os quatro dígitos seguintes indicam a semana e o ano de fabricação.
- 13 - Índices de desgaste, tração e temperatura: O governo federal exige que os fabricantes classifiquem os pneus em relação à taxa de desgaste da banda de rodagem, desempenho da tração e da resistência a temperaturas.
- 14 - Pneu sem câmara de ar (tubeless).

2.1.1.3.2 Raio de rolamento do pneu

Genta (2006) diz que o raio dinâmico pode ser definido como o raio da roda rígida que se desloca e gira com a mesma velocidade do pneu sem realizar esforços longitudinais em uma pista plana e pode ser determinado pela relação entre a velocidade linear, V , e a velocidade angular, ω , como demonstrado na equação abaixo.

$$R_d = \frac{V}{\omega} \quad (2.5)$$

O contato entre o solo e o pneu não acontece apenas em um ponto, a banda de rodagem é complacente também na direção de rodagem, como consequência o raio dinâmico, R_d , não coincide com o raio do conjunto quando carregado R_i , nem com o

raio do conjunto sem carga, R , e o centro instantâneo de rotação não coincide com o centro do contato entre o pneu e o solo como demonstrado na FIG. (2.5).

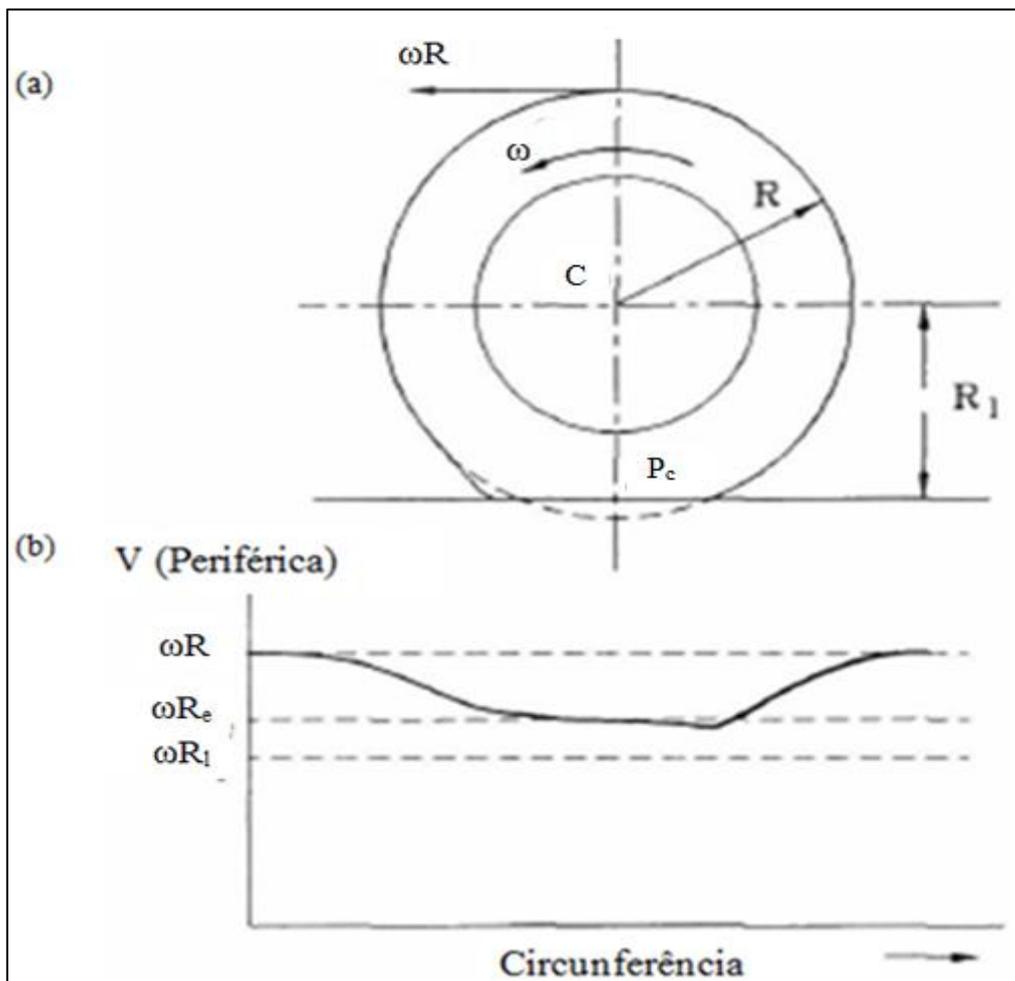


FIGURA 2.5 - Rolamento do pneu em um piso plano; configuração geométrica (a) e velocidade periférica na zona de contato (b).

FONTE: Genta, 2006, p. 40.

Devido às deformações na banda de rodagem, a velocidade periférica varia em qualquer ponto da banda periodicamente. Quando se considera o local do início da zona de contato diminui-se sua velocidade e conseqüentemente tem-se uma compressão naquele local. Segundo Genta (2006) na zona de contato ocorre um deslizamento mínimo entre o pneu e a roda, por isso a velocidade periférica do solo, em relação ao centro da roda, nesse local coincide com a velocidade do centro da roda. Após deixar a zona de contato, a banda de rodagem recupera o seu comprimento inicial e a sua velocidade periférica ωR é restaurada. Como consequência desse mecanismo, a

velocidade angular de um conjunto com pneus pneumáticos é menor que de uma roda rígida com o mesmo raio de carga R_l e viajando à mesma velocidade. Portanto, pode-se concluir que $R_l < R_d < R$.

O centro de rotação da roda encontra-se em seguida uma distância pequena do piso. Devido à menor rigidez vertical, os pneus radiais possuem um menor raio de carga R_l do que os pneus diagonais com raio R igual, mas apresentam o raio dinâmico R_d mais próximo do raio não carregado por apresentarem banda de rodagem circunferencialmente mais rígida. O raio dinâmico efetivo depende de vários fatores alguns dos quais são determinados pelo pneu, como o tipo de estrutura construtiva, desgaste da banda de rodagem e outros fatores como pressão de enchimento, carga, velocidade e etc.

Um aumento da carga vertical e uma diminuição da pressão de enchimento geram resultados similares: uma diminuição de R_l e R_d . Com o aumento da velocidade, o pneu expande a zona de contato sob ação de forças centrípetas e conseqüentemente R , R_l e R_d aumentam. Esse efeito é maior em pneus do tipo diagonal enquanto, devido à maior rigidez dos pneus radiais estes praticamente não alteram suas medidas. (Genta, 2006, p. 39).

2.1.2 Resistência aerodinâmica

A resistência aerodinâmica atuante em um veículo tem grande importância na contribuição à resistência total ao deslocamento, principalmente em velocidades altas, e surge de três fontes distintas: resistência de forma ou de pressão, resistência de atrito e perdas por correntes de ar.

2.1.2.1 Resistência de forma ou de pressão

Quando um corpo está imerso em um fluido em movimento ou se desloca em relação ao fluido, existe uma força resultante, a força de arrasto, agindo sobre ele que depende da forma do corpo e é tanto maior quanto maior for a velocidade de deslocamento (Hucho, 1998, p. 48).

Segundo Fox et. al (2010) um fluido é toda substância que se deforma continuamente sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento, não importando o quão

pequeno for. Uma propriedade importante dos fluidos é a viscosidade que representa o quanto este resiste ao cisalhamento. A fim de relacionar os resultados práticos com a teoria de mecânica dos fluidos, em 1909, Ludwig Prandtl criou o conceito de camada limite. Em um escoamento a camada limite é a região nas imediações de uma superfície delimitadora, fazendo-se sentir os efeitos da viscosidade e a dissipação de energia mecânica. Na região localizada além da camada limite o efeito da viscosidade é desprezível e o fluido pode ser tratado como não viscoso.

Segundo Genta (2006) quando a quantidade de movimento do fluido no interior da camada limite é insuficiente para transportar o elemento de fluido para regiões de maior pressão as camadas de fluido adjacentes à superfície sólida serão levadas ao repouso e o fluido se descolará da superfície. O ponto em que isto ocorre chama-se ponto de descolamento ou esteira. A esteira da camada limite tem como consequência a formação de uma região de baixa pressão atrás do corpo, provocando um desequilíbrio de forças de pressões no sentido do escoamento resultando no arrasto que atua no corpo. Hucho (1998) diz que dependendo da forma do corpo é possível elevar a velocidade de descolamento, mas a turbulência criada é inevitável.

2.1.2.1.1 Forças aerodinâmicas

As forças e momentos resultantes da interação entre o veículo e o fluxo de ar são definidos em três componentes agindo sobre os principais eixos do veículo a partir do centro de gravidade, ou C.G. O C.G. é um ponto, real ou imaginário, onde a massa de todos os componentes do veículo pode ser considerada concentrada. Seu conhecimento é importante para se determinar o comportamento dinâmico e estático do veículo influenciando nas cargas atuantes nas rodas dianteiras e traseiras e nos momentos gerados pelas forças nos três eixos de referência. A FIG. (2.6) exemplifica a localização do centro de gravidade e representa as forças e momentos atuantes no veículo. A força atuante na direção longitudinal ou na direção do eixo x é chamada de arrasto e o momento de rolamento, na direção lateral ou na direção do eixo y a força é chamada de força lateral e o momento de arfagem, já na direção do eixo z a força é chamada de sustentação e o momento de guinada. Os três componentes vetoriais da força determinam o vetor resultante da interação entre o ar e o veículo e sua direção.

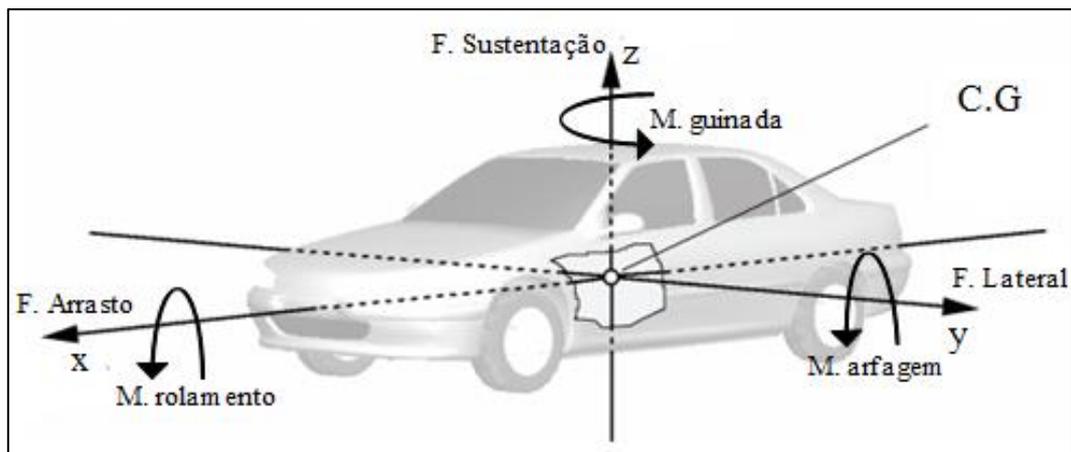


FIGURA 2.6 - Representação das componentes da força aerodinâmica e momentos atuantes em um veículo.

Adaptado de SAE J670, 2008, pag.08.

2.1.2.1.1.1 Força e coeficiente de arrasto

O arrasto é a componente da força sobre um corpo que atua paralelamente à direção do movimento relativo. A força de arrasto é determinada pela EQ. (2.6) semi-empírica. Na fórmula os três primeiros termos são comumente chamados de pressão dinâmica.

$$F_A = \frac{1}{2} \rho (V + V_{wx})^2 C_x A \quad (2.6)$$

Sendo:

A - Área frontal

C_x - Coeficiente da força de arrasto

ρ - Densidade do ar

F_A - Força de arrasto

V - Velocidade do veículo

V_{wx} - Velocidade do vento na direção x

O coeficiente de arrasto é adimensional e no seu valor estão considerados influências de acabamento superficial e de forma do veículo. Segundo Genta (2006) este

valor representa o quão maior são essas influências se comparadas com o escoamento em uma placa plana. É determinado experimentalmente em túnel de vento ou através do teste “Coast Down” e o seu produto com a área frontal do veículo é chamado de área efetiva.

Ao longo dos anos, a melhoria das formas aerodinâmicas tem trazido um grande decréscimo no coeficiente de arrasto dos carros, como demonstrado na FIG. (2.7). Os carros modernos tem um coeficiente de arrasto médio em torno de 0,30. O valor mínimo teórico é de $C_x \approx 0,15$ para um veículo em formato de gota e com as rodas tampadas pela carcaça. (WHITE, 2002, p.497)

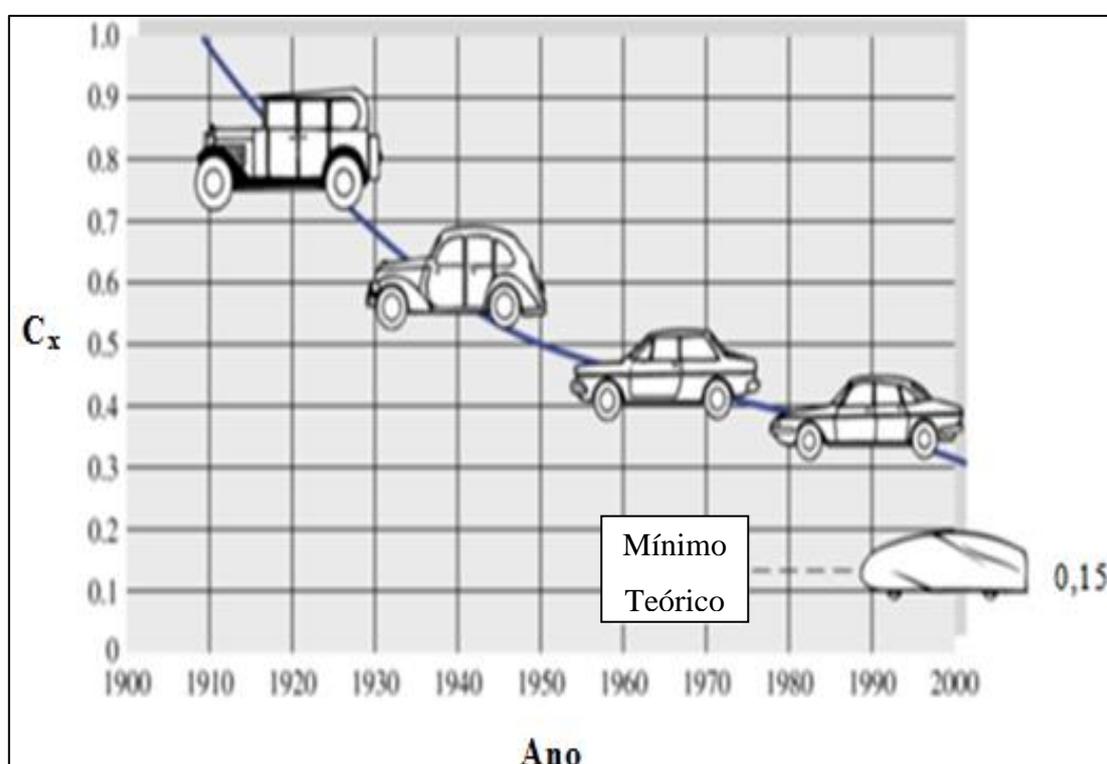


FIGURA 2.7 - Evolução do coeficiente de arrasto dos veículos ao longo dos anos.

FONTE: Adaptado WHITE, 2012, p. 497.

2.1.2.1.1.2 Força e coeficiente lateral

Com o deslocamento do veículo componentes laterais do ar impõem uma tentativa de mudança de direção de deslocamento iniciando da frente do veículo

podendo desvia-lo para uma direção a favor do vento. Hucho (1998) diz que além do formato aerodinâmico do veículo as características do sistema de direção como barras, eixos e rodas também tem influência nesse comportamento. Segundo Genta (2006) a força lateral atua no centro de pressão, assim como o centro de gravidade corresponde ao local médio da massa de um objeto o centro de pressão corresponde ao local médio da variação de pressão. Normalmente está localizado à frente do centro de gravidade o que pode ocasionar mudança de trajetória do veículo. A força lateral é dada por:

$$F_L = \frac{1}{2} \rho V^2 C_y A \quad (2.7)$$

Sendo:

A - Área frontal

C_y - Coeficiente da força lateral (em função do ângulo relativo do vento)

ρ - Densidade do ar

F_L - Força Lateral

V - Velocidade do veículo

Gillespie (1992) disponibiliza um gráfico para determinação do coeficiente da força lateral que é encontrado em função do ângulo relativo do vento e do tipo de veículo, como demonstrado no GRA. (2.5).

2.1.2.1.1.3 Força e coeficiente de sustentação

A força de sustentação surge devido ao diferencial de pressão existente entre o teto e o assoalho e tem influência na dirigibilidade do veículo por alterar a distribuição das massas do veículo e conseqüentemente o equilíbrio dinâmico. A força de sustentação é dada pela seguinte equação:

$$F_S = \frac{1}{2} \rho V^2 C_z A \quad (2.8)$$

Sendo:

A - Área frontal

C_z - Coeficiente da força de sustentação

ρ - Densidade do ar

F_S - Força de sustentação

V - Velocidade do veículo

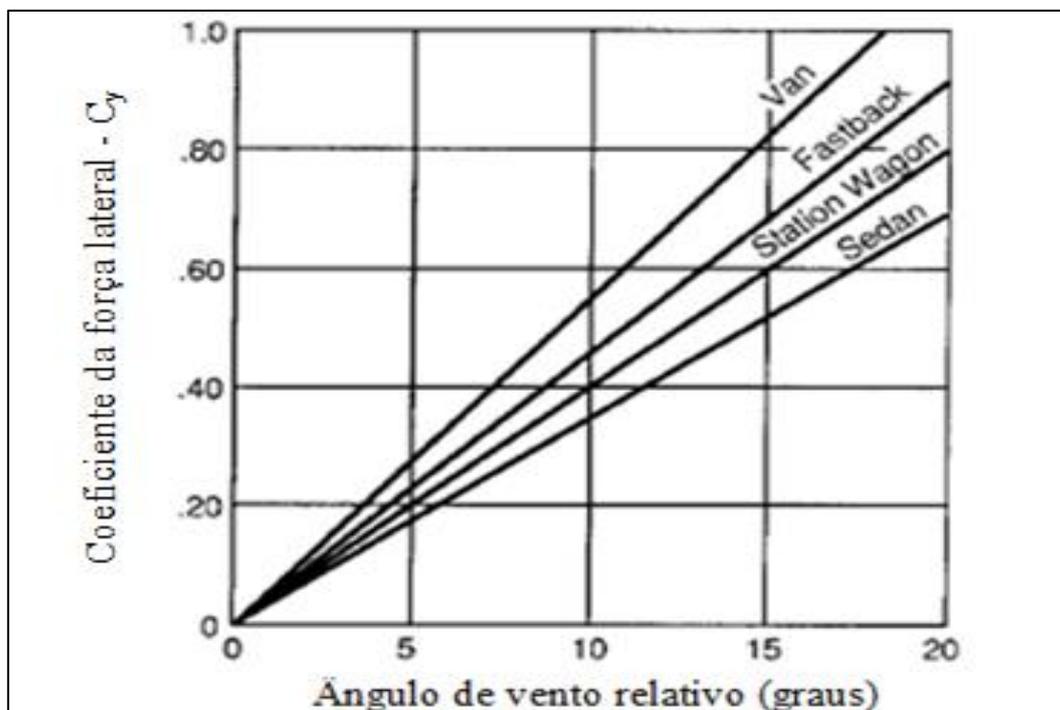


GRÁFICO 2.5 - Coeficiente da força lateral em função do ângulo relativo e categoria do veículo.

Adaptado, Gillespie, 1992, p. 102.

Segundo Gillespie (1992), o coeficiente de sustentação varia entre 0,3 a 0,5 para os veículos modernos em condições normais podendo alcançar valores iguais ou maiores que 1,0 devido ao vento cruzado. É comum, determinar um coeficiente para a parte da frente e outro para a parte de trás devido aos acessórios e o formato aerodinâmico do veículo, uma vez que toda a carroceria tem influência nesse parâmetro.

2.1.2.1.2 Área frontal veicular

A área frontal é a área projetada em um plano da parte frontal do veículo, devendo este estar com os ajustes a serem considerados durante a realização do ensaio. Para a determinação da área frontal vários métodos foram desenvolvidos, como

exemplo por fotografia, feixe de luz e o método a laser, que pode ser visualizado na FIG. (2.8).

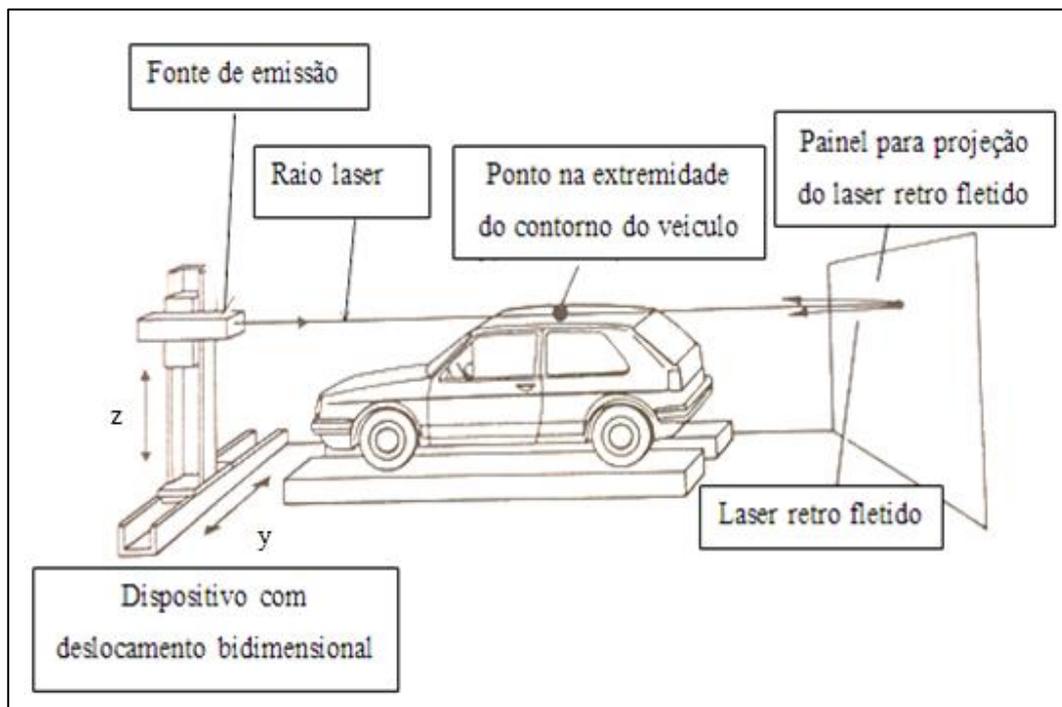


FIGURA 2.8 – Método de medição da área frontal utilizando laser.

FONTE: Hucho, 1998. Pag. 722.

Segundo Hucho (1998) o método a laser é considerado o mais preciso, pois não produz erros por divergência dos feixes e apresenta a vantagem de poder ser realizado em pequenas salas. No método que emprega o laser, a superfície externa do veículo é iluminada por um feixe de laser emissor (hélio-neon) paralelo ao eixo axial do veículo, que detecta o limite da superfície do veículo através de um sensor receptor. O feixe emissor e sensor receptor se movem de forma sincronizada, em um plano YZ, fazendo toda a varredura do contorno do veículo. Desta forma, determina-se a área frontal projetada. (HUCHO apud. TIMPONI, 2006).

2.1.2.2 Resistência de atrito

O ar, devido à sua viscosidade, em contato com a superfície externa do veículo provoca perdas de energia por meio do atrito. Nos veículos atuais, devido aos

processos de fabricação e pintura obtém-se um melhor acabamento superficial, ou uma menor rugosidade, resultando em uma perda relativamente pequena.

2.1.2.3 Perdas por correntes de ar

As perdas por corrente de ar ocorrem devido ao ar que penetra no veículo para refrigeração, ventilação e alimentação do motor, nos vãos das rodas, retrovisores e outros frisos presentes na carcaça. A FIG. (2.9) exemplifica a circulação do ar no vão do motor. Além das perdas geradas pelo ar externo, há também as perdas por recirculação.

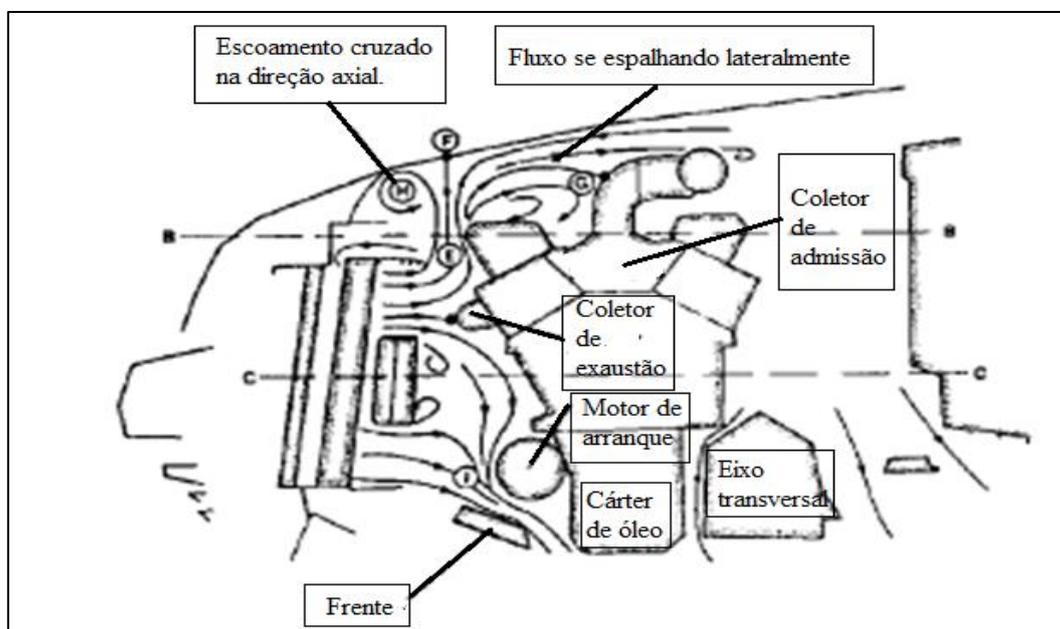


FIGURA 2.9 - Representação do escoamento no vão do motor.

FONTE: Adaptado ,Gillespie (1992), pag. 93.

2.1.3 Resistência ao aclave

Caso o deslocamento do veículo ocorra em um piso que não esteja no nível horizontal, haverá uma componente do peso agindo sobre o centro de gravidade paralelamente ao piso realizando influência no deslocamento do veículo como pode ser visualizado na FIG. (2.10). Para mensurar a força resistiva ao aclave utiliza-se a EQ. (2.9). Na situação de aceleração do veículo caso o ângulo entre o nível horizontal e o nível do piso for positivo haverá uma componente da força que dificultará o movimento, caso for negativo a componente facilitará o movimento.

$$F_{AC} = mg \operatorname{sen} \alpha \text{ ou } F_{AC} = G \operatorname{sen} \alpha \quad (2.9)$$

Sendo:

α - Ângulo de inclinação da pista

F_{AC} - Força de aclave

g - Aceleração da gravidade

m - massa do veículo

G - peso do veículo

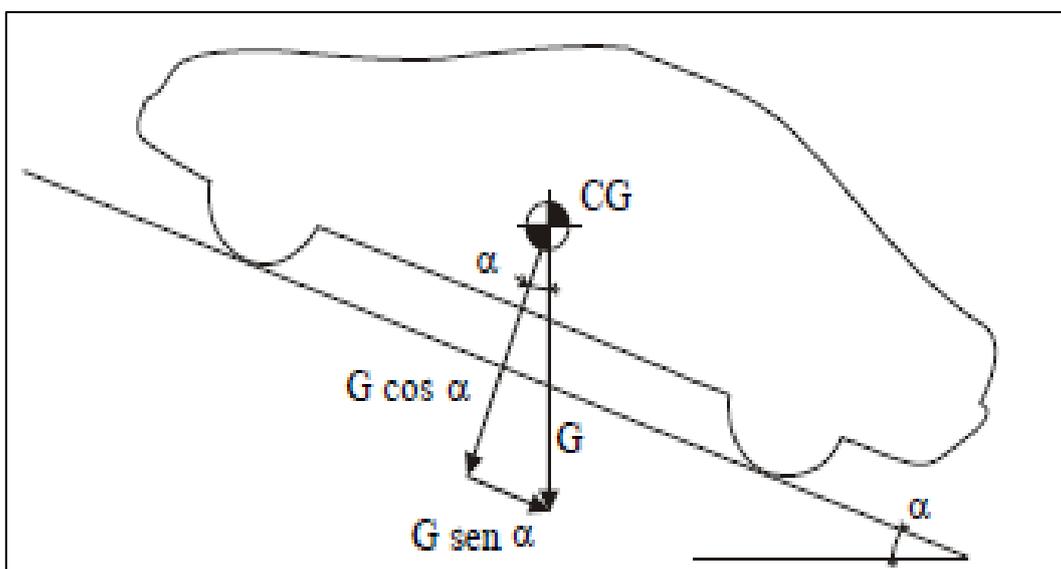


FIGURA 2.10 - Representação da componente peso agindo sobre o centro de gravidade do veículo.

FONTE: Leal et. al., 2012

2.1.4 Resistência inercial

A resistência inercial ocorre durante a aceleração ou frenagem do veículo. As forças inerciais não dependem apenas da massa do veículo, mas da massa de todos componentes rotacionais presentes no veículo desde o eixo virabrequim até as rodas. Segundo Ubysz (2010), em torno de 80 a 90% do momento de inércia em motores com capacidade volumétrica entre 1000 cm³ e 2000 cm³ são devidos ao acoplamento do volante de inércia com o sistema de transmissão, os outros 10 a 20% são devidos às massas rotativas do eixo virabrequim e rodas.

Utilizando a EQ. (2.10) é possível determinar a força inercial.

$$F_i = \left(m + \frac{\sum J_{rot}}{r_d^2} \right) \frac{dV}{dt}$$

$$F_i = ma \left(1 + \frac{J}{mR_d^2} \right)$$

Substituindo $\frac{J}{mr_d^2}$ por δ , tem-se:

$$F_i = ma(1 + \delta) \quad (2.10)$$

Sendo:

δ - Coeficiente de inércia

F_i - Força inercial

dV/dt ou a - Aceleração

J_{rot} - Inércia dos componentes rotativos

m - massa do veículo

R_d - raio dinâmico do pneu

V - velocidade do veículo

O termo de inércia dos componentes rotativos é expresso em função da relação de transmissão. Como simplificação, é conveniente agrupar o momento de inércia de todos os componentes do motor, da caixa de marchas, da embreagem e do eixo de transmissão para o eixo motor para uma única constante, com isso a EQ. (2.10) pode ser reescrita como:

$$F_i = ma \lambda \quad (2.11)$$

Sendo:

λ : constante de inercia

A constante de inércia representa o acréscimo da massa do veículo devido à necessidade de acelerar as inércias rotativas, que em primeira marcha podem chegar a 50% da massa total do veículo, diminuindo para 5% nas marchas mais elevadas. (LEAL et. al., 2012, p.51)

2.1.5 Resistência mecânica

A potência entregue nas rodas de um veículo sempre será menor do que a gerada no motor devido às perdas existentes no percurso. Segundo Leal, et. al (2012) a resistência mecânica é considerada como toda e qualquer perda que ocorra entre o volante do motor e os mancais das rodas motrizes. São divididas em perdas que são independentes da carga transmitida, proveniente em grande parte do movimento do óleo lubrificante e outra devido ao atrito dos componentes que é proporcional à carga aplicada. A potência no cubo pode ser encontrada utilizando o rendimento da transmissão da força e a potência do motor, como a seguir:

$$F_M V = P_C = P_m \eta_m \quad (2.12)$$

Sendo:

F_M - Força de Resistência Mecânica

P_C - Potência no cubo da roda

P_m - Potência efetiva no motor

η_m - Rendimento mecânico da transmissão

V - Velocidade do veículo

Sabendo que potência efetiva no motor é a soma das potências no cubo e a perda na transmissão. Segundo Leal et. al. (2012) as perdas podem ser decompostas em uma parte que é independente da carga transmitida e outra devido ao atrito propriamente dito.

2.2. Determinação da resistência total ao deslocamento

A resistência total ao deslocamento é definida como sendo a soma de todas as forças resistivas excluindo para o objetivo deste trabalho a força de resistência aerodinâmica lateral e a força de sustentação. Como a determinação da força resistiva total ao deslocamento é realizada por uma desaceleração, a força de resistência mecânica é desconsiderada, neste momento, encontrando a seguinte equação:

$$F_{RT} = F_A + F_{RR} + F_{AC} + F_i$$

$$F_{RT} = mgf_r \cos\alpha + mg \sin\alpha + ma \lambda + \frac{1}{2} \rho (V + V_{wx})^2 C_x A \quad (2.13)$$

Os termos podem ser agrupados de acordo com o grau de dependência para a velocidade com o intuito de facilitar a identificação dos coeficientes e a EQ. (2.13) é reescrita da seguinte forma:

$$F_{RT} = f_0 + f_1 V + f_2 V^2 \quad (2.14)$$

Sendo:

$$f_0 - mg(f_r \cos\alpha + \sin\alpha) + ma \lambda + \frac{1}{2} \rho V_{wx}^2 C_x A$$

$$f_1 - \rho V_{wx} C_x A$$

$$f_2 - \frac{1}{2} \rho C_x A$$

2.3 Transferências de cargas longitudinais em acelerações e frenagens

Partindo de uma análise estática, ou seja, quando o veículo não está em movimento acelerado, retardado ou em curvas, e considerando o pavimento plano, é possível encontrar a distribuição de peso no eixo dianteiro e traseiro utilizando as referências apresentadas na FIG. (2.11) e utilizando a EQ. (2.15) e EQ. (2.16).

$$G = Z_1 + Z_2 \quad (2.15)$$

$$Z_2 = \frac{G d_1}{L} \quad (2.16)$$

Sendo:

Z_1 - A força de reação no eixo dianteiro;

Z_2 - A força de reação no eixo traseiro;

G - Força peso;

L - Distância entre eixos;

d_1 - Distância entre o eixo dianteiro e o centro de gravidade;

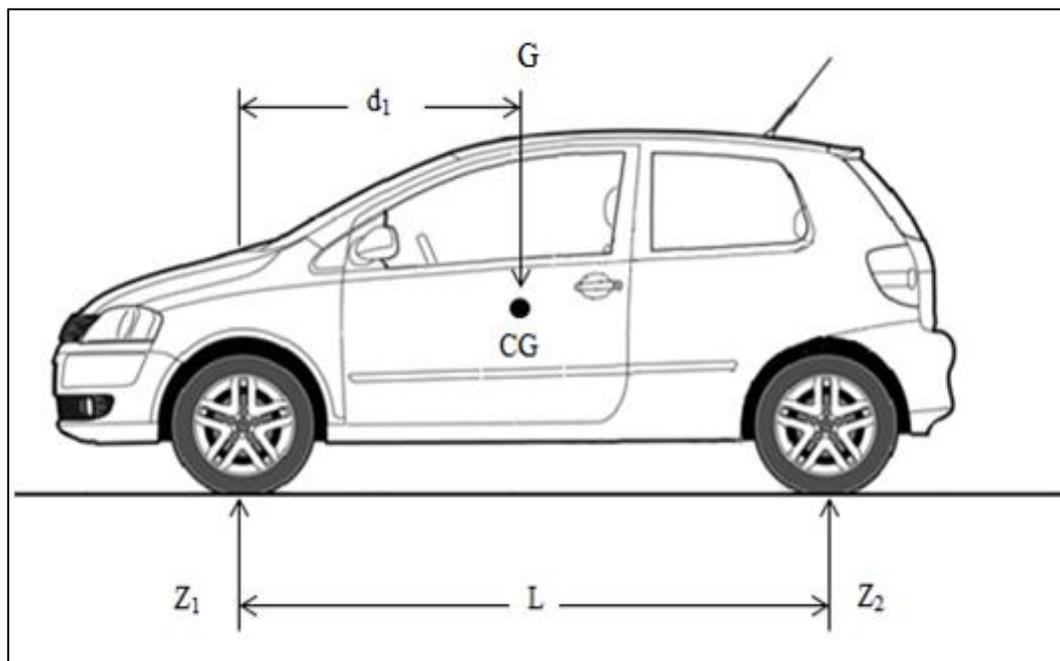


FIGURA 2.11 - Localização do centro de gravidade e forças de reação nos eixos dianteiro e traseiro.

FONTE: Adaptado de Cars Drawing of The Blueprints²

As cargas estáticas distribuídas nos pneus dianteiros e traseiros sofrem influência de outra componente quando o veículo realiza o movimento de aceleração ou frenagem sendo esta componente aplicada no contato pneu/pavimento. Segundo Seward (2014), é possível converter a análise dinâmica longitudinal em uma análise estática utilizando o princípio de D'Alembert que diz que o carro resiste à aceleração ou frenagem com uma força inercial de reação que atua no centro de gravidade com a mesma magnitude da força de tração, mas com sentido oposto, como pode ser visualizado na FIG. (2.12).

Como a força de tração ocorre no nível da pista e a força inercial D'Alembert atua no centro de gravidade é gerado um momento que tende a levantar a frente do veículo no caso de aceleração ou abaixa-la no caso de desaceleração, momento que recebe o nome de arfagem. Este momento causa um desbalanceamento das cargas estáticas ocasionando uma transferência de carga longitudinal. A partir do conceito da segunda lei de Newton que diz que a aceleração adquirida por um corpo é diretamente proporcional à resultante das forças que sobre ele atuam, tendo a mesma direção e

² Disponível em: http://www.the-blueprints.com/vectordrawings/show/2315/volkswagen_fox/. Acesso em Novembro de 2015.

sentido desta resultante, sendo a constante de proporcionalidade a massa do veículo, ou seja, $a = F_T/m$ e utilizando as EQ. (2.17) e EQ. (2.18), é possível calcular a transferência de carga durante a aceleração ou desaceleração.

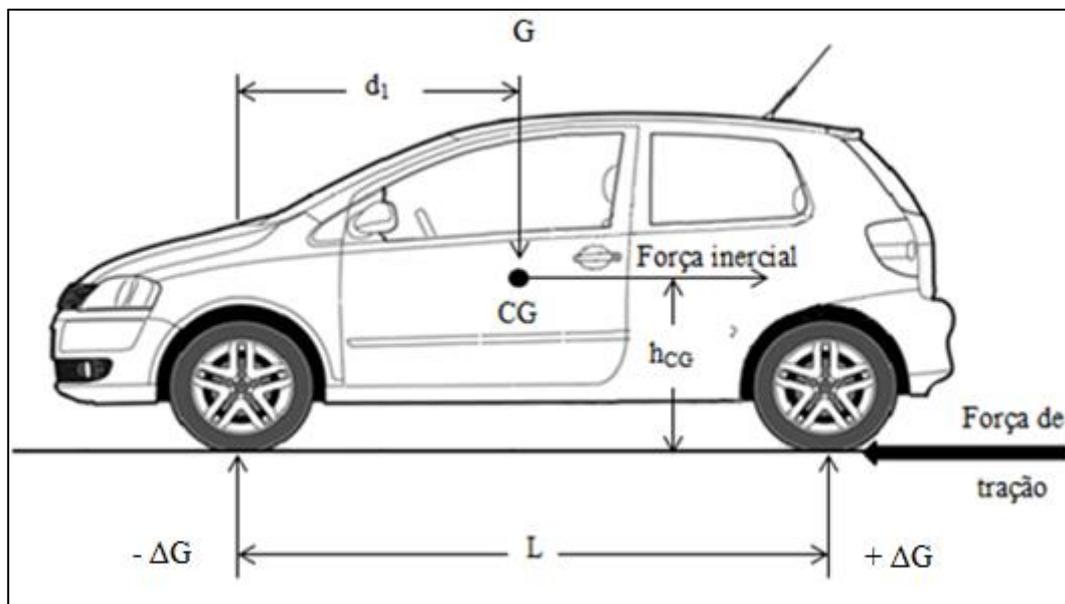


FIGURA 2.12 - Representação da transferência de carga longitudinal utilizando o princípio de D'Alembert.

FONTE: Adaptado de Cars Drawing of The Blueprints²

$$F_T h_{CG} = \Delta G L \quad (2.17)$$

$$\Delta G = \pm \frac{F_T h_{CG}}{L} \quad (2.18)$$

Sendo:

h_{CG} - Altura entre o pavimento e o centro de gravidade.

F_T - Força motriz

ΔG - Transferência de carga entre eixos durante movimento

Essa transferência de carga longitudinal pode ser positiva, quando o veículo está em aceleração e acontece a transferência de carga para o eixo traseiro, como pode ser negativa, quando o veículo está em desaceleração e acontece a transferência de carga para o eixo dianteiro.

A partir dessa análise, consegue-se prever o comportamento do veículo nas diversas situações de movimento e analisar quais as influências de modificações de componentes na distribuição do peso do veículo.

2.4 Dinamômetro de chassi

Segundo o dicionário *Michaelis*, dinamômetro é o nome genérico dado aos instrumentos cuja função é medir forças mecânicas ou torques, mediante o emprego da resistência de molas, pesos, ou fricção, quer diretamente forças estáticas, quer indiretamente, torques, mediante a medição de seu momento de rotação ou do trabalho mecânico.

O dinamômetro de chassi ou de rolos é um tipo de dinamômetro que possibilita a realização de ensaios em um ambiente com parâmetros controlados sem influências externas com veículo montado, ou seja, a sua aplicação é bastante ampla. São ensaios realizados em dinamômetros de chassi: Ensaios de eficiência de frenagem, ensaios de controle de produção, ensaios de emissões, ensaios de análise de desgaste de longa duração, ensaios de eficiência energética de componentes, ensaios em túneis de vento (conjugado com esteiras para simular o escoamento na parte inferior do veículo), ensaios de ruído, ensaios de choque térmico (conjugado com outros equipamentos), entre outros.

Existem diversas configurações do dinamômetro de chassi que variam o diâmetro e número dos rolos em contato com cada roda, localização e tipo de apoio do motor elétrico, tipo de célula de carga e funcionamento de leitura entre outras. A norma brasileira NBR 6601 exige que o dinamômetro possua uma unidade de absorção de potência do tipo elétrica ou hidráulica para simular as condições de resistência ao deslocamento do veículo em pista e permite que seja utilizado dinamômetro de rolos duplos com diâmetro nominal maior ou igual a 219 mm e dinamômetro de rolos simples com diâmetro nominal do rolo igual ou superior a 1200 mm. Apesar de a norma brasileira permitir a utilização do dinamômetro de rolos duplos o mais recomendado por centros de pesquisa nacionais e internacionais para os ensaios de emissões por apresentar um contato pneu/rolo mais próximo do contato pneu/pista são dinamômetros de rolos simples com diâmetro igual ou superior a 48 polegadas ou 1219,2 mm, como o modelo apresentado na FIG. (2.13).



FIGURA 2.13 - Dinamômetro de chassi de rolos simples com 48 polegadas de diâmetro, 150 KW da AVL.

FONTE: Plint et. al (2012), p. 461.

Segundo Plint et al. (2012) os novos equipamentos utilizam uma célula de carga para medir a reação do motor elétrico de acionamento montado no berço do dinamômetro, embora seja usado também um eixo ou um flange para transmissão da força até a célula de carga. A sua calibração e verificação devem ser realizadas periodicamente para garantir a leitura correta dos mensurandos, já que os resultados e comportamento de todo equipamento está diretamente relacionado com a sua leitura.

A leitura da velocidade é realizada por um encoder ótico, um tipo de sensor que emite sinais em direção a uma referência, geralmente uma roda dentada, e a partir das ondas refletidas encontra-se os pulsos e conseqüentemente a velocidade do rolo.

As diferenças existentes entre as massas inerciais do veículo em teste dos rolos são compensados pelo motor do sistema de controle que apresenta baixa inércia e apresenta comportamento suficientemente dinâmico para responder à rápidas mudanças nas acelerações e frenagens.

Para garantir que todo o conjunto atinja a temperatura operacional antes do início da simulação e dos testes e assegurar que as perdas mecânicas sejam idênticas em todas as faixas de velocidades de operação do dinamômetro é necessário aquecê-lo.

2.4.1 O efeito do diâmetro do rolo nas condições de contato

Segundo Plint et. al. (2012) existe uma diferença de comportamento ao rodar com os pneus em uma pista plana e rodar com os pneus em um dinamômetro de rolos de diferentes diâmetros influenciando a resistência ao rolamento. Essa relação é dada pela seguinte equação:

$$f_{rr} = f_r \left(1 + \frac{R}{r} \right)^{1/2} \quad (2.19)$$

Sendo:

f_{rr} - Resistência ao rolamento nos rolos

f_r - Resistência ao rolamento

R - Raio do pneu

r - Raio do rolo

A resistência ao rolamento nos rolos aumenta linearmente com o aumento da razão entre raios. Caso estes apresentassem o mesmo raio, a resistência ao rolamento nos rolos seria 1,414 a resistência em pista plana. A FIG. (2.14a) demonstra o contato entre o raio do pneu e o raio do rolo e a FIG. (2.14b) à relação entre a razão das resistências ao rolamento com os raios.

2.5 Composições dos gases de escapamento

Os motores de combustão interna são máquinas as quais convertem a energia química proveniente do combustível em energia térmica por meio da combustão de uma mistura de ar e combustível e parte desta energia é transformada em energia mecânica. O oxigênio é comburente e é proveniente do ar atmosférico, que de acordo com Corradini (2005) tem composição aproximada de 20,95% de oxigênio (O₂),

78,09% de nitrogênio (N₂), 0,93% de argônio e o restante por outros gases. Na literatura existem três tipos de combustão: a combustão completa, a combustão estequiométrica e a combustão incompleta.

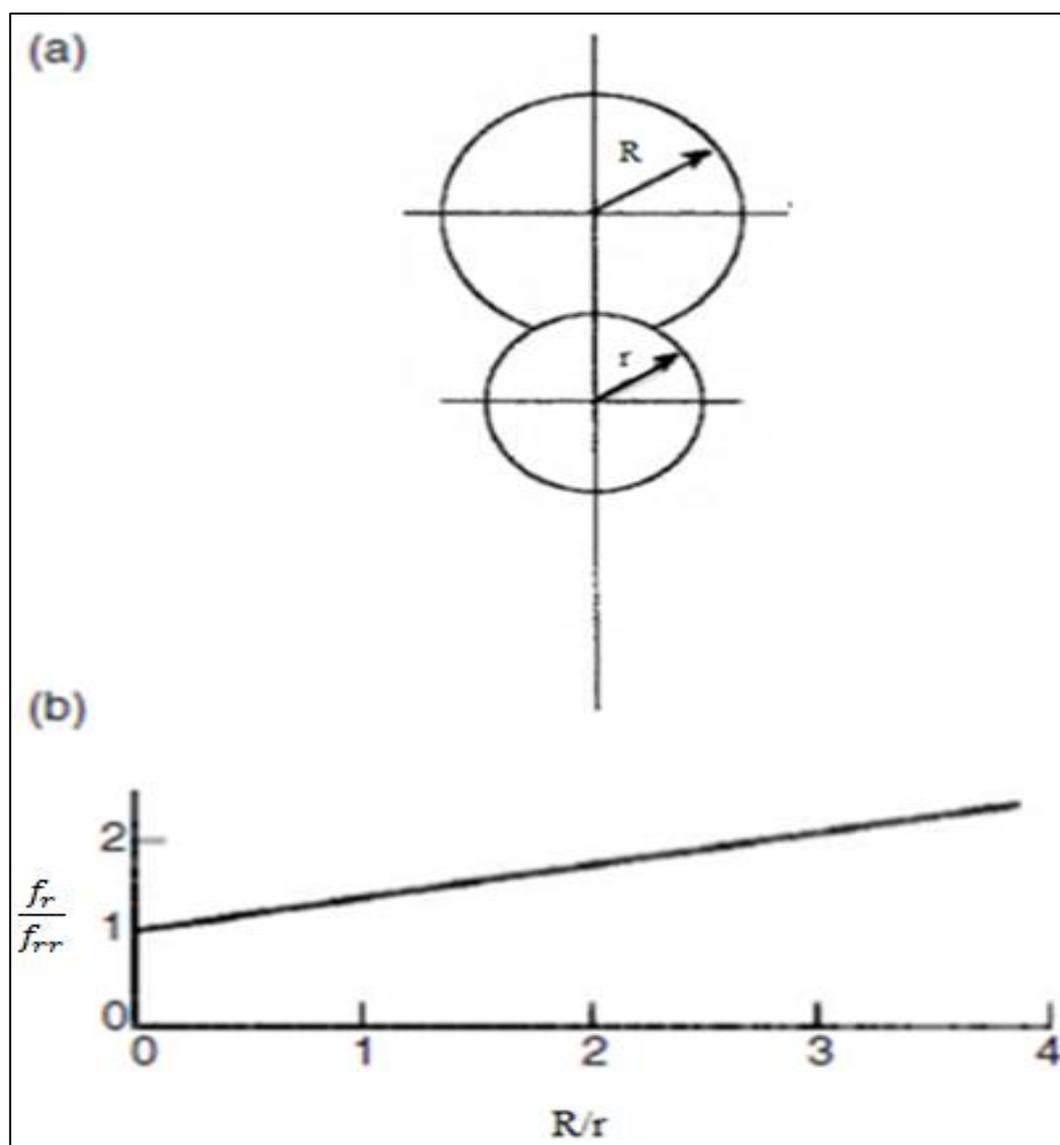


FIGURA 2.14 - (a) Relação entre o raio do pneu e raio do rolo do dinamômetro ; (b) Relação linear entre a razão das resistências ao rolamento e a razão entre os raios do pneu e dinamômetro.

FONTE: Plint, 2012, p. 479.

A combustão completa é a reação de combustão que gera produtos totalmente oxidados, ou seja, os elementos oxidáveis do combustível combinam com o oxigênio se convertendo integralmente em dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O), independente da existência de excesso de oxigênio (O₂) para a reação.

A combustão estequiométrica é a reação de oxidação teórica que determina a quantidade exata de moléculas de oxigênio necessárias para efetuar a completa oxidação do combustível. Seus produtos são o dióxido de carbono (CO_2), hidrogênio (H_2O) e Nitrogênio (N_2).

Na combustão incompleta ou parcial aparecem também produtos intermediários da combustão, o que é resultado da oxidação incompleta dos elementos do combustível, que são além do dióxido de carbono (CO_2) e a água (H_2O), também o monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H_2), metano (CH_4), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NO_x).

No funcionamento real de um motor de combustão interna o processo de combustão incompleta é predominante nos regimes mais comuns de funcionamento. Para minimizar os efeitos dos produtos dessa combustão são instalados no sistema de exaustão do veículo dispositivos com a função de controlar e minimizar os efeitos dos gases de emissão, dentre eles o catalisador e a sonda lambda. Os catalisadores são dispositivos instalados, nos veículos mais modernos, próximos à câmara de combustão na tubulação de escapamento para aproveitamento da energia térmica dos gases. Neste, os gases CO , HC e NO_x são transformados respectivamente em CO_2 , H_2O e N_2 simultaneamente, ao passarem pela área do catalisador com paládio, ródio e molibdênio. Porém, este dispositivo se torna eficiente somente quando atinge altas temperaturas e para misturas próximas às estequiométricas (BRUNETTI, 2012). A sonda lambda também é instalada na tubulação de escape e tem como função analisar a quantidade de oxigênio presente nos gases de escape e informar o resultado através de um sinal de tensão para a central eletrônica para que esta corrija a quantidade de combustível a ser injetado na câmara de combustão com o objetivo de deixar a mistura mais próxima da estequiométrica. (PULKRABEK, 2004)

2.6 Normas técnicas

Para atingir os objetivos a que se propõe este trabalho serão utilizadas algumas normas técnicas que serão apresentadas de forma resumida e servirão de referência para algumas ações a serem realizadas durante a etapa prática.

2.6.1 NBR 10312

A norma NBR 10312 - Determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração livre em pista de rolamento e simulação em dinamômetro prescreve as condições e procedimentos requeridos para a determinação da resistência ao deslocamento de um veículo automotor leve e simulação em dinamômetro de chassi, a partir da desaceleração livre do veículo em pista de rolamento.

O teste de resistência ao deslocamento consiste em acelerar o veículo a uma velocidade igual ou superior a 105 km/h e desacoplar o sistema de transmissão do motor, mudando este para a posição neutra, para que o automóvel possa iniciar a desaceleração livre, sem interferências dos freios. Ao atingir a velocidade de 100 km/h, devem-se iniciar as medições de tempo em intervalos iguais de velocidade, de no máximo 10 km/h, até que o veículo atinja uma velocidade igual ou inferior a 30 km/h.

Ao veículo, conforme NBR 6601, para resultar no valor da massa efetiva é necessário adicionar massas padrões que somadas à massa do executante e dos instrumentos totalizem 136 kg.

Segundo a norma NBR 10312 a pista de rolamento para a realização do ensaio deve ser controlada, devendo esta ser reta, plana, isenta de irregularidades, limpa e seca, podendo haver um desnível máximo de 1,5% considerando o trecho inicial e final a serem realizadas as medições. Durante o ensaio o veículo não deve alterar sua trajetória (mudar de faixa de rolamento). Caso seja necessário, a mudança de uma faixa para outra deve ser feita em um espaço de pelo menos 500 metros. As medições devem ser efetuadas em uma mesma direção e sentidos opostos. As desacelerações devem ser executadas com a alavanca de mudança de marchas na posição neutra e com o pedal de embreagem, quando existente, não acionado.

Condições ambientais mínimas e máximas também são exigidas por norma, mesmo realizando as devidas correções para as condições padrões de ensaio. A velocidade do vento, a ser medida a uma altura de $0,70 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$, a cada período de desaceleração não deve apresentar média superior a 3,0 m/s e picos superiores a 5,0 m/s, e a componente transversal à pista de rolamento não deve ser superior a 2 m/s. A temperatura ambiente deve estar compreendida entre 5 a 35°C, à sombra. A temperatura considerada padrão para a correção dos resultados é de 20°C. Já a pressão atmosférica

deve estar compreendida entre 906 a 1039 mbar e a pressão considerada padrão para a correção dos resultados é de 1013,25 mbar.

A norma NBR 10312 estabelece que o veículo a ser ensaiado deva estar amaciado e com um mínimo de 3000 km rodados e os pneus devem apresentar profundidade dos sulcos entre 90 a 50% da profundidade inicial. A pressão dos pneus deve ser calibrada de modo a atender as condições a serem consideradas para o ensaio.

O volante de direção deve ser girado de batente a batente pelo menos uma vez, e com o veículo em movimento antes de se realizar o seu pré-condicionamento. O pré-condicionamento do veículo consiste em ligar o motor e em um ciclo com duração de 30 minutos manter a velocidade superior a 80 km/h. Durante a realização do ensaio, os veículos devem estar com todas as janelas fechadas, entradas de ar para a ventilação e com o ar condicionado desligados e acessórios externos opcionais, quando possível, retirados do veículo. (NBR 10312, 2014, p.4)

A norma fornece ainda dois métodos para se determinar os coeficientes da equação da força resistiva total do veículo em função da velocidade. O primeiro utiliza o método matemático dos mínimos quadrados. Para este método é necessário uma sequência de cálculos cujos resultados são atribuídos a cinco variáveis, X_1 , X_2 , X_3 , X_4 e X_5 . A variável X_1 recebe o valor do somatório das desacelerações calculadas para cada intervalo. A variável X_2 recebe o somatório das velocidades médias em m/s calculadas para cada intervalo. A variável X_3 recebe o somatório das velocidades médias em m/s elevadas ao quadrado calculadas para cada intervalo. A variável X_4 recebe o somatório das velocidades médias em m/s elevadas à quarta potência para cada intervalo. A variável X_5 recebe o somatório da multiplicação da velocidade média ao quadrado pela aceleração em cada intervalo. O QUA. (2.1) demonstra resumidamente as operações necessárias para se encontrar as cinco variáveis.

O coeficiente da equação dependente da velocidade de ordem zero sem as correções para as condições padrões de temperatura e pressão será calculado da seguinte forma:

$$f'_{0,k} = \left[\frac{(X_4 X_1) - (X_3 X_5)}{(n - 1) X_4 - X_3^2} \right] m_e \quad (2.20)$$

Sendo:

m_e - massa efetiva

n - número de desacelerações em cada sentido da pista de rolamento

O coeficiente da equação dependente da velocidade de segunda ordem sem as correções para as condições padrões de temperatura e pressão será calculado da seguinte forma:

$$f'_{2,k} = \left[\frac{(n-1) X_5 - (X_3 X_1)}{(n-1) X_4 - X_3^2} \right] m_e \quad (2.21)$$

QUADRO 2.1

Demonstração dos cálculos e das atribuições das variáveis X_1, X_2, X_3, X_4 e X_5 .

Pontos de Medição	Instante	Velocidade	Aceleração média no intervalo	Velocidade média no intervalo	Velocidade média no intervalo elevada ao quadrado	Velocidade média no intervalo elevada à quarta potência	Velocidade média ao quadrado multiplicada pela aceleração média no intervalo
	[s]	[m/s]	[m/s ²]	[m/s]	[m/s] ²	[m/s] ⁴	[m ² /s ³]
	t_i	V_i	$a_i = \frac{V_{(i+1)} - V_i}{3,6 \times \Delta t}$	$\bar{V}_i = \frac{V_{(i+1)} + V_i}{2 \times 3,6}$	$\overline{V_i^2}$	$\overline{V_i^4}$	$a_i \overline{V_i^2}$
0	0	V_0	-	$\overline{V_0}$	$\overline{V_0^2}$	$\overline{V_0^4}$	$a_0 \overline{V_0^2}$
1	t_1	V_1	a_1	$\overline{V_1}$	$\overline{V_1^2}$	$\overline{V_1^4}$	$a_1 \overline{V_1^2}$
2	t_2	V_2	a_2	$\overline{V_2}$	$\overline{V_2^2}$	$\overline{V_2^4}$	$a_2 \overline{V_2^2}$
3	...	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...	...
...
...
...
n-1	t_{n-1}	V_{n-1}	a_{n-1}	$\overline{V_{n-1}}$	$\overline{V_{n-1}^2}$	$\overline{V_{n-1}^4}$	$a_{n-1} \overline{V_{n-1}^2}$
			$X_1 = \sum a_1$	$X_2 = \sum \overline{V_i}$	$X_3 = \sum \overline{V_i^2}$	$X_4 = \sum \overline{V_i^4}$	$X_5 = \sum a_i \overline{V_i^2}$

FONTE: NBR 10312, 2014, p.10.

No segundo método utilizam-se dois intervalos de desaceleração. O primeiro intervalo considera o tempo obtido na desaceleração de 90 a 70 km/h ou 25,00 a 19,44 m/s e a velocidade de referência de 80 km/h ou 22,22 m/s e o segundo intervalo considera o tempo obtido na desaceleração de 45 a 35 km/h ou 12,50 a 9,72 m/s e a velocidade de referência de 40 km/h ou 11,11 m/s.

Os coeficientes da equação dependente da velocidade de ordem zero e de segunda ordem são encontrados utilizando as seguintes equações:

$$f_0' = \frac{m_e}{(22,22^2 - 11,11^2)} \times \left(\frac{25,00 - 19,44}{\Delta t_2} \times 11,11^2 - \frac{12,50 - 9,72}{\Delta t_1} \times 22,22^2 \right) \quad (2.22)$$

$$f_2' = \frac{m_e}{(22,22^2 - 11,11^2)} \times \left(\frac{12,50 - 9,72}{\Delta t_1} - \frac{25,00 - 19,44}{\Delta t_2} \right) \quad (2.23)$$

Sendo:

m_e - massa efetiva

Δt_1 - Tempo registrado em segundos do intervalo de velocidade de 12,50 a 9,72 m/s.

Δt_2 - Tempo registrado em segundos do intervalo de velocidade de 25,00 a 19,44 m/s.

Para se corrigir os coeficientes encontrados para as condições padrões a norma NBR 10312 sugere as seguintes equações:

$$f_0 = f_0 [1 + K_T (T - T_0)] \quad (2.24)$$

$$f_2 = \frac{P_0 T}{P T_0} (f_2 - K_P \times f_0) + K_P \times f_0 \quad (2.25)$$

Sendo:

T_0 - Temperatura padrão de 293,15 K

P_0 - Pressão padrão de 1013,25 mbar

K_T - $8,6 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

K_P - $2,503 \times 10^{-4} \text{ (m/s)}^2$

A partir dos coeficientes encontrados a equação genérica da força resistiva ao deslocamento em função da velocidade é dada pela seguinte equação:

$$F = f_0 + f_2 V^2 \quad (2.26)$$

Caso o veículo testado possua ar condicionado, a norma solicita o acréscimo de 10% no valor dos coeficientes encontrados.

2.6.2 NBR 6601

A norma NBR 6601 - Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento prescreve o método para determinação de hidrocarbonetos totais (THC), não metanos (NMHC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de carbono (CO₂) e material particulado emitido pelo motor através do tubo de descarga de veículos rodoviários automotores leves, funcionando sobre um dinamômetro de chassi simulando uma condição de uso normal médio em vias urbanas. Para a realização desse tipo de ensaio, a norma exige alguns equipamentos específicos com configurações mínimas a serem cumpridas. O dinamômetro de chassi deve ter uma unidade de absorção de potência do tipo elétrico ou hidráulico para simular as condições de carga do veículo em pista de rolamento conforme prescrito na NBR 10312. O sistema de amostragem de volume constante (AVC) responsável por medir o volume total do gás de escapamento e ar de diluição e coletar continuamente, para análise, uma parcela dessa mistura que seja proporcional ao volume total deve possuir um venturi crítico ou um sistema com resultados equivalentes. As parcelas coletadas, tanto de ar de diluição quanto de gás de amostragem são separadas em balões de coleta que devem possuir material especial de forma a impedir alterações quantitativas e qualitativas das composições. A norma NBR 6601 especifica que o sistema de amostragem que utiliza venturi crítico para amostragem proporcional do fluxo total de gás é mantido a velocidade sônica, a qual é proporcional à raiz quadrada da temperatura absoluta do gás computada continuamente, a amostragem se dá através de outro sistema de venturi crítico instalado no mesmo fluxo de gás apresentando a mesma pressão e temperatura da amostra total, logo o volume da amostra é proporcional ao volume total da mistura. Ventilador com velocidade constante e capacidade não inferior a 2,50 m³/s para resfriamento do motor. Sistema de Analisadores com detector por ionização de chama (DIC/DICA) para as determinações dos hidrocarbonetos totais (THC), detector por

ionização de chama equipado com um conversor catalítico seletivo para a determinação do gás metano (CH_4), analisador por absorção de raios infravermelhos não dispersivos (IND) para as determinações de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO_2) e um analisador por luminescência química (LQ) para as determinações dos óxidos de nitrogênio (NO_x).

A norma NBR 6601 ainda prescreve o ensaio de condução a ser realizado pelo motorista simulando as condições urbanas. O ensaio completo, tem duração total de 2474 segundos como pode ser visualizado na FIG. (2.15), consiste em dois ciclos, sendo um com partida do veículo a frio e o outro com partida à quente com intervalo entre eles de 10 minutos \pm 1 minuto. O ciclo de partida a frio é dividido em duas fases, a primeira fase, representando a fase transitória da partida a frio termina com a desaceleração programada para ocorrer aos 505 segundos de ensaio. A segunda fase, chamada de estabilizada encerra o ciclo de partida a frio com o desligamento do veículo e tem duração de 864 segundos. Da mesma maneira, o ciclo de partida a quente consiste em duas fases, a fase transitória que se encerra aos 505 segundos de ensaio e a fase estabilizada que por ser idêntica à fase estabilizada do ciclo de partida à frio e o veículo estar nas mesmas condições, esta não é realizada, mas é considerada nos cálculos para obtenção dos resultados. A distância total percorrida nas três fases é segundo Barlow et. al (2009) de 17786,59 metros e o resultado é a média ponderada entre os ciclos de partida a frio e a quente apresentado em gramas por quilômetro de cada gás analisado.

Caso o solicitante do ensaio não forneça recomendações sobre os pontos ideais de trocas de marcha do veículo, serão considerados as seguintes velocidades para as trocas durante os ciclos, da primeira para a segunda a 25 km/h, da segunda para terceira a 40 km/h, da terceira para quarta a 65 km/h, da quarta para a quinta 72 km/h, nos carros automáticos desconsiderar os valores fornecidos. Nas desacelerações a troca de marcha somente ocorrerá da marcha engrenada para o neutro quando a velocidade atingir 24 km/h ou quando especificado pelo fabricante.

A norma NBR 6601 cita os procedimentos de preparação do veículo para o ensaio. Ao valor da massa padrão do veículo é adicionado o valor da massa do executante, a massa dos instrumentos de medição e massas padronizadas de modo a totalizar 136 kg. Essa massa recebe o nome de massa real de ensaio, m_r . Ao valor de m_r é adicionado o valor da massa equivalente à inércia de rotação dos componentes, que caso não seja determinada, deve ser considerada 3% da massa real, resultando na massa

efetiva. O valor da massa efetiva é utilizado para se encontrar a inércia equivalente a partir de uma tabela apresentada em norma e evidenciada neste trabalho no ANEXO A. O veículo deve ser abastecido com combustível padrão seguindo a norma NBR 8689 e de acordo com o solicitante do ensaio. Depois de o veículo ser abastecido, os pneus devem ser calibrados seguindo recomendações do solicitante e o veículo deve ser pré-condicionado no dinamômetro programado com as forças resistivas executando a primeira e a segunda fase sem a necessidade de captação dos gases de escapamento. Ao término do pré-condicionamento o veículo deve permanecer com o motor desligado em um ambiente com temperatura entre 20 °C a 30 °C por um período não inferior a 12 horas e não superior a 36 horas, antes da realização do ensaio de emissões dos gases de escapamento.

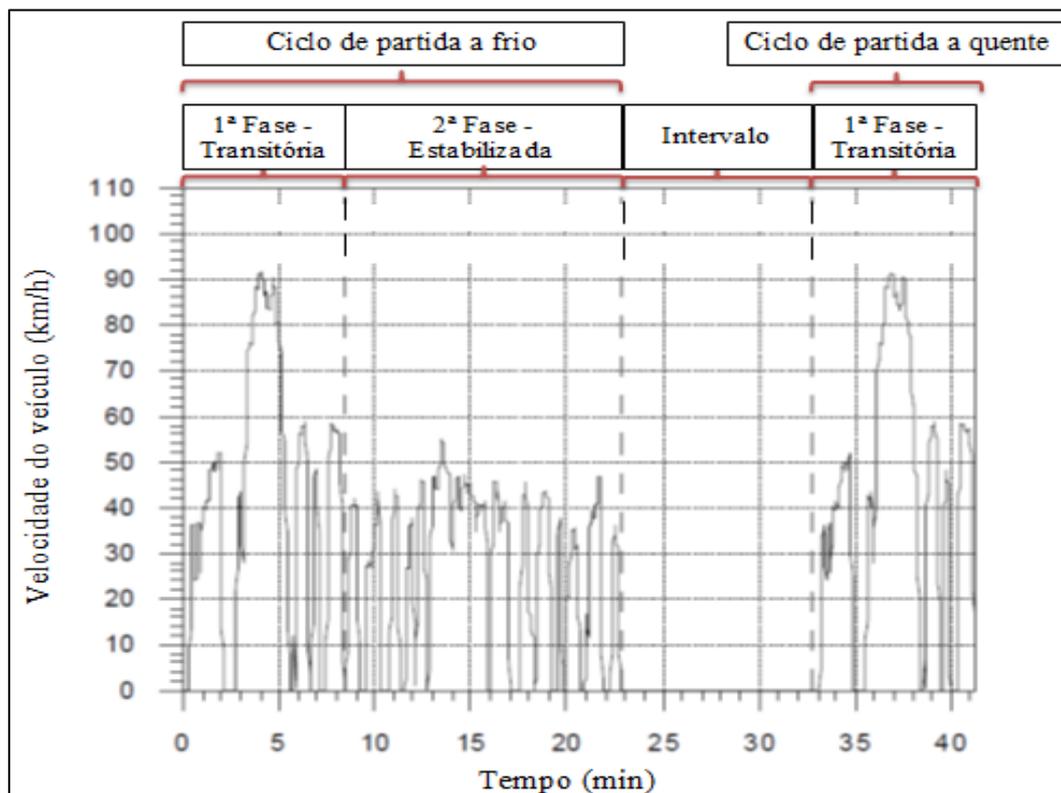


FIGURA 2.15 - Ciclo de condução urbano brasileiro.

FONTE: Adaptado de SALES, 2010, p.91

2.6.3 NBR 7024

A norma NBR 7024 – Veículos rodoviários automotores leves – Medição do consumo de combustível – Método de ensaio prescreve o método para a medição do

consumo de combustível para veículos leves por meio de condução desenvolvidos em dinamômetro de chassi que simulam o uso do veículo no trânsito urbano conforme NBR 6601 e em estrada.

São permitidos dois métodos de medição do consumo de combustível, o método gravimétrico ou volumétrico e o método por balanço de carbono. Nessa dissertação será utilizado o método por balanço de carbono que parte da premissa que o ar admitido não apresenta carbono e que todo o carbono presente no combustível é emitido na forma de, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarbonetos totais (HC) hidrocarbonetos totais emitido pelo motor durante o ciclo de condução.

O consumo de combustível para o ciclo urbano é determinado pela média ponderada entre os valores de consumo obtidos na fase “transitória”, fase “estabilizada” com partida a frio e quente na mesma proporção utilizada como pode ser visualizado na EQ. (2.27) abaixo:

$$C_{urb} = 0,43 \frac{C_I D_I + C_{II} D_{II}}{D_I + D_{II}} + 0,57 \frac{C_{III} D_{III} + C_{II} D_{II}}{D_{III} + D_{II}} \quad (2.27)$$

Onde:

C_{urb} - O consumo de combustível urbano ponderado em litros /100 km

C_I , C_{II} e C_{III} – São os consumos de combustível nas fases I, II e III respectivamente, em litros/100 km;

D_I , D_{II} e D_{III} – São as distâncias, efetivamente percorrida nas fases I, II e III respectivamente.

3 METODOLOGIA

A metodologia será dividida em três principais etapas, a primeira referente à determinação da resistência total ao deslocamento, realizando as desacelerações do veículo em pista de rolamento onde se pretende obter os coeficientes da equação da força resistiva total, utilizando dois métodos distintos de cálculo, e determinar a influência, em cada velocidade, das forças resistivas que a compõem. A segunda etapa referente à adaptação e simulação das forças resistivas no dinamômetro a partir dos coeficientes obtidos na primeira etapa com o objetivo de se obter novos coeficientes que compensam a inércia do equipamento, e a terceira e última, referente aos ensaios de determinação da emissão de CO₂ e consumo de combustível utilizando os coeficientes obtidos na segunda etapa para simular as forças resistivas durante o ciclo de condução urbano para cada método de cálculo.

3.1 Determinação da resistência total ao deslocamento

A resistência total ao deslocamento do veículo será determinada através do teste de desaceleração ou teste “Coast Down”. Para que este teste seja válido existem algumas condições iniciais e pré-requisitos que devem ser verificados e cumpridos de acordo com a norma NBR 10312.

O veículo será acelerado a uma velocidade superior a 105 km/h, desacoplado o sistema de transmissão mudando a alavanca de marchas para a posição neutra e sem a interferência dos freios e acionamento do pedal de embreagem, iniciada a desaceleração livre. Quando o veículo atingir 100 km/h, será iniciada as medições de tempo em intervalos de velocidade de 1 km/h até que o veículo atinja a velocidade igual a 30 km/h.

A escolha do local de execução do ensaio é de suma importância para que se obtenham resultados coerentes. Foi escolhido um trecho da rodovia LMG 674 que liga os municípios de Pirapora a Ibiaí, no norte de Minas Gerais. O sentido da pista Pirapora/Ibiaí, para este trabalho, será referenciado como 0°. O sentido oposto, de Ibiaí/Pirapora como 180°. O trecho da pista de rolamento considerado é utilizado por várias montadoras para execução de testes de desempenho por apresentar longas

distâncias de pista reta, boa qualidade de asfalto e os desníveis apresentados estão dentro da tolerância prescrita na norma. Na norma não há exigências da rugosidade do pavimento da pista de rolamento, mas o ideal é evitar pavimentos com rugosidade elevada de modo a influenciar a área de contato entre pneu e pavimento e consequentemente nos resultados. No momento do teste a pista de rolamento deve estar limpa, sem a presença de corpos estranhos que possam interferir na desaceleração, e em condição seca. O tráfego de veículos deve estar reduzido ou ausente porque serão realizadas dez desacelerações em cada sentido da pista de rolamento para uma mesma direção. Deve-se evitar o esterçamento do volante durante as desacelerações e caso seja necessária à mudança de pista deve-se realizar com distância mínima de 500 metros.

Com os dados das desacelerações, serão calculados os coeficientes da equação da força resistiva total do veículo em função da velocidade utilizando dois métodos diferentes, o primeiro utiliza o método matemático dos mínimos quadrados e o segundo utiliza o método de desaceleração média considerando dois intervalos da curva de desaceleração. Apesar dos tempos de desaceleração de 100 km/h até os 30 km/h serem armazenados em intervalos de velocidade de 1 km/h, para o método dos mínimos quadrados, estes serão agrupados em 14 intervalos de velocidade de 5 km/h para o cálculo das cinco variáveis mostradas no QUADRO (2.1), X_1 , X_2 , X_3 , X_3 e X_5 , necessárias para obtenção dos coeficientes da equação da força resistiva, utilizando a EQ. (2.20) e EQ. (2.21). Para o método dos intervalos médios de desaceleração consideram-se os intervalos de desaceleração de 90 a 70 km/h e 45 a 35 km/h e utiliza-se a EQ. (2.22) e a EQ. (2.23) para o cálculo dos coeficientes. Os coeficientes encontrados deverão ser corrigidos para as condições padrões de temperatura e pressão utilizando a EQ. (2.24) e EQ. (2.25).

Com os coeficientes determinados pelos dois métodos e considerando as grandezas que cada um representam, serão calculados os valores da força de resistência aerodinâmica, força de resistência ao rolamento, força de resistência inercial e força de resistência mecânica para diferentes velocidades.

3.1.1 Veículo utilizado

Para os testes práticos será utilizado o veículo da montadora Volkswagen, modelo Fox, ano de fabricação 2011, ano modelo 2012 exibido na FIG. (3.1). Como

exigido por norma, o veículo apresenta odômetro superior a 3.000 quilômetros. O motor que equipa este carro é o EA 111, de 1,598 litros de volume com potência declarada de 101 cv, ou 74 kW e torque de 151 Nm utilizando Gasool E22, e 104 cv, ou 76 kW de potência e torque de 153 Nm utilizando etanol hidratado E100. A transmissão é do tipo manual de 5 marchas. Os pneus que equipam o veículo são do fabricante Pirelli modelo 195/55R15 85H, com diâmetro de aro da roda de 15 polegadas, largura nominal de 195 mm, razão percentual de 55 entre a altura e a largura, ou seja, apresenta uma altura nominal de 107,25 mm, índice de carga e velocidade máxima 85H, o que significa que suporta uma carga máxima de 515 kg por pneu e apresenta velocidade máxima de 210 km/h. O pneu apresenta utilização de aproximadamente 10.000 km e altura média de sulcos de 87% em relação às dimensões nominais. Os pneus estão montados em uma roda de aço, sem câmara de ar e sem calotas.



FIGURA 3.1 - Volkswagen FOX utilizado para os testes

FONTE: Do próprio autor.

A norma NBR 10312 não exige o monitoramento da temperatura da pista durante a execução do teste de determinação da resistência em pista de rolamento, mas como o pavimento apresenta contato direto com a extremidade dos pneus serão medidas

a temperatura da pista em intervalos de cinco desacelerações e as temperaturas dos pneus no início e no final do teste. Em ambas as ocasiões será utilizado um pirômetro e mantido à uma distância de medição de aproximadamente 20 centímetros.

O ângulo de câmber do eixo dianteiro será ajustado para $-0,15^\circ$ antes da realização do teste e as quatro rodas alinhadas e balanceadas. Após esse ajuste, o veículo será utilizado para se deslocar até o local de realização do ensaio de determinação da força resistiva por desaceleração livre e retorno ao laboratório, o que totaliza uma distância total percorrida de aproximadamente 900 quilômetros.

O veículo apresenta distância entre eixos declarada de 2465 mm, área frontal de 2,17 m², coeficiente da força de arrasto C_x declarado de 0,35.

A massa padrão desde modelo é 1046,00 kg. Para o teste de determinação da resistência ao deslocamento em pista de rolamento será posicionado no veículo massas calibradas que somadas à massa do executante e dos instrumentos totalizem 136,00 kg, resultando em uma massa real para ensaio de 1182,00 kg, como recomendado por norma. A massa efetiva é obtida a partir da massa real para ensaio acrescida de 3%, para compensar a inércia dos componentes de rotação, resultando em 1217,46 kg.

O tanque de combustível tem capacidade de armazenamento de aproximadamente 50 litros. Para esta etapa o veículo será abastecido com 25 litros de Gasool E27, ou seja, uma mistura de gasolina pura com 27% de etanol anidro.

Durante o teste de desaceleração as janelas serão fechadas assim como as entradas de ar para ventilação e ar condicionado. O volante de direção será girado de batente a batente com o veículo em movimento, antes de se iniciar o aquecimento. O veículo será pré-condicionado realizando uma rodagem por 30 minutos evitando o acionamento do freio durante este período para que a influência deste item seja a menor possível.

Todas as informações referentes ao veículo utilizado neste trabalho são apresentadas de maneira resumida no QUADRO (3.1).

3.1.1.1 Instrumentação do veículo

Para as medições dos tempos de desaceleração considerando a velocidade real o veículo será instrumentado com o GPS Racelogic Vbox 3i. Este equipamento

utiliza o método matemático Filtro de Kalman com o propósito de aproximar os resultados obtidos das grandezas medidas. A uma taxa de registro de 100 Hz utiliza sinais de satélite associados com um periférico, posicionado no teto do veículo, que funciona a partir do efeito Doppler com o objetivo de otimizar a exatidão do equipamento, que segundo o fabricante, é de aproximadamente 3 centímetros. O sensor é instalado no teto do veículo e suas dimensões serão consideradas desprezíveis para alteração da área frontal.

A programação do software da Racelogic foi feita para iniciar automaticamente a aquisição dos tempos a uma velocidade real de 100 km/h a cada intervalo de 1 km/h até atingir a velocidade de 30 km/h.

3.1.2 Monitoramento das condições ambientais

O monitoramento das condições ambientais e climáticas também é exigido por norma e será realizado durante todo o período das desacelerações. A velocidade do vento longitudinal não deve apresentar média superior a 3,0 m/s e picos superiores a 5,0 m/s e a transversal não deve ser superior a 2,0 m/s sendo as velocidades do vento medidas a uma altura de 70 cm da pista. A temperatura deve estar compreendida entre 5 e 35 °C medidos à sombra e a pressão atmosférica compreendida entre 906 e 1039 mbar. Além dessas exigências, o monitoramento é importante para a correção dos coeficientes da equação da força resistiva para as condições padrões utilizando a EQ. (2.24) e a EQ. (2.25).

Para tal finalidade foi montada uma estação meteorológica automática portátil (EMA), composta por sensores e um registrador discriminados no QUADRO (3.2) com a função e princípio de funcionamento.

Para o armazenamento das leituras mínimas, médias, e máximas dos sensores de temperatura, umidade, pressão, velocidade e direção do vento no datalogger é necessário programar a frequência e o tipo dos sinais de entrada e traduzir os sinais de saída nos parâmetros requeridos além de uma alimentação elétrica constante de 12 Volts, que neste caso será fornecida por uma bateria automotiva. Foi utilizada a linguagem de programação CRBASIC para descrição das instruções de aquisição e armazenamento em intervalos de 60 segundos que pode ser visualizada no APÊNDICE A.

QUADRO 3.1

Dados do veículo utilizado nos testes.

Ficha Técnica	
Fabricante	Volkswagen
Modelo	Fox GII
Categoria	Compacto
Ano de Fabricação /Modelo	2011/2012
Dados do Motor	
Motor	EA 111 1.6 8v
Potência [cv]	101 (G) / 104 (E)
Torque máximo [kgf]	15,4 (G) / 15,6 (E)
Combustível	Gasolina ou Etanol
Capacidade do reservatório de comb. [l]	50
Dados Mecânicos	
Transmissão	Manual 5 marchas
Tração	Dianteira
Freios Dianteiros	Disco (ventilado)
Freios Traseiros	Tambor
Ângulo de Câmbio [°]	- 0,15
Massas	
Massa padrão - m [kg]	1046,00
Massa real para ensaio - m _r [kg]	1182,00
Massa efetiva - m _e [kg]	1217,46
Dados Aerodinâmicos	
Coef. de Arrasto – C _x [adimensional]	0,35
Área frontal [m ²]	2,17
Dimensões	
Altura (vazio) [mm]	1543
Largura com espelhos retrovisores [mm]	1901
Distância entre eixos [mm]	2465
Rodas / Pneus	
Marca dos pneus	Pirelli P7
Característica dos pneus	195/55 R15 85H
Pressão (pneus diant.) [lbf/cm ²]	29
Pressão (pneus tras.) [lbf/cm ²]	31
Material das rodas	Aço
Calotas	Não
Equipamentos de Série / Opcionais	
Ar condicionado	Sim
Portas	4
Antena no teto	Sim

FONTE: Manual de instruções Volkswagen Fox, 2011

QUADRO 3.2

Descrição da Estação Meteorológica Automática Portátil.

Descrição	Modelo	Função / Princípio de funcionamento
Sensor: Termohigrômetro	Campbell Scientific HMP45AC	Responsável pela medição da temperatura e umidade local. Utiliza dois sensores conjugados que funcionam pelo princípio de dilatação e absorção térmica. É empregado um material com propriedades bem conhecidas e que com as variações de temperatura e umidade locais tem suas dimensões alteradas possibilitando quantificar os valores dessas variáveis. Apresenta uma proteção, chamada de abrigo, cuja função é evitar a exposição direta dos elementos sensores aos raios solares e à chuva, além de garantir um equilíbrio com a atmosfera à sua volta.
Sensor: Anemômetro de hélice	Campbell Scientific 5103	Responsável pela medição da direção e velocidade do vento que a partir da passagem do ar tem sua hélice movimentada proporcionalmente. A haste de fixação possui um rolamento impermeável de alta precisão que permite o giro do anemômetro em 360° possibilitando a medição da direção do vento a partir de uma referência.
Sensor: Barômetro aneróide	Campbell Scientific CS106 PTB 110	Responsável pela medição da pressão atmosférica. Este barômetro é constituído por uma pequena cápsula hermética onde existe uma pequena quantidade de ar e um diafragma flexível. Quando a pressão atmosférica aumenta provoca uma compressão na câmara do barômetro e quando a pressão diminui verifica-se uma expansão da câmara.
Registrador: Datalogger	Campbell Scientific CR10	Responsável pelo armazenamento das leituras dos sensores. Possui 12 entradas analógicas, ou seis diferenciais e utiliza sua memória interna para armazenamento de até 29.908 pontos.

FONTE: Campbell Scientific.

3.2 Simulação da força resistiva no dinamômetro

A próxima etapa é a simulação da força resistiva total pelo dinamômetro em laboratório. Para que haja um comportamento adequado sem influência da inércia dos componentes construtivos do dinamômetro e garantir a repetitividade dos ensaios deve-se realizar o aquecimento do equipamento por no mínimo 10 minutos. Como dados de entrada o software do dinamômetro solicita os coeficientes da equação da força resistiva obtidos nas desacelerações do teste “Coast Down” corrigidos para as condições padrões,

f_0 e f_2 , e o valor da classe de inércia do veículo de acordo com a NBR 6601. Para saber a qual classe de inércia o veículo pertence será utilizada a massa de ensaio utilizada na etapa anterior acrescida de 3%, como recomendada pela norma NBR 10312, equivalente à inércia de rotação dos componentes construtivos do veículo quando estes não estão disponíveis. Este valor está contido em uma das faixas de valores disponíveis na norma, e demonstrado no ANEXO A, e deve ser substituído pelo valor da classe de inércia tabelado correspondente. Para este veículo, como a massa considerada foi de 1217,46 kg a classe de inércia correspondente será 1191,00 kg.

Ao veículo será adicionada uma massa, como feito na etapa de determinação da força resistiva em pista de rolamento, cujo valor somado com a massa do executante totalize 136 kg. Para esta etapa, o reservatório de combustível foi abastecido com 25 litros de Gasool E22. A diferença na massa de combustível gerada pelas diferentes concentrações de etanol anidro na mistura Gasool E22 e Gasool E27 será desconsiderada neste trabalho.

Após a inserção dos dados de entrada, o veículo, com os pneus calibrados com a mesma pressão do teste realizado em pista de rolamento, será posicionado com as rodas propulsoras sobre os rolos do dinamômetro, sendo conduzido ou rebocado até ele, de modo que as rodas do eixo dianteiro fiquem alinhadas longitudinalmente com as rodas do eixo traseiro e o centro das rodas do eixo motriz alinhadas radialmente com o centro dos rolos do dinamômetro. As rodas do eixo não motriz são presas com cunhas de fixação para não permitirem qualquer movimento longitudinal durante as acelerações e desacelerações.

Durante os testes em laboratório o executante não deve usar o volante para alterar a trajetória por isso são utilizadas cintas tensionadas fixadas nos dois lados da parte inferior da estrutura do veículo. Na FIG. (3.2) é possível visualizar uma configuração típica do laboratório de emissões veiculares com os principais equipamentos evidenciados.

Para aproximar as condições de simulação da força resistiva pelo dinamômetro com as condições do teste de determinação das forças resistivas em pista de rolamento e os pneus atingirem uma condição estável das propriedades que influenciam no coeficiente de resistência ao rolamento, é realizado um ciclo de pré-condicionamento em que o veículo será acelerado até uma velocidade de 80 km/h e

permanecerá nesta condição por 1200 segundos sem que seja acionado o pedal de freio na desaceleração.

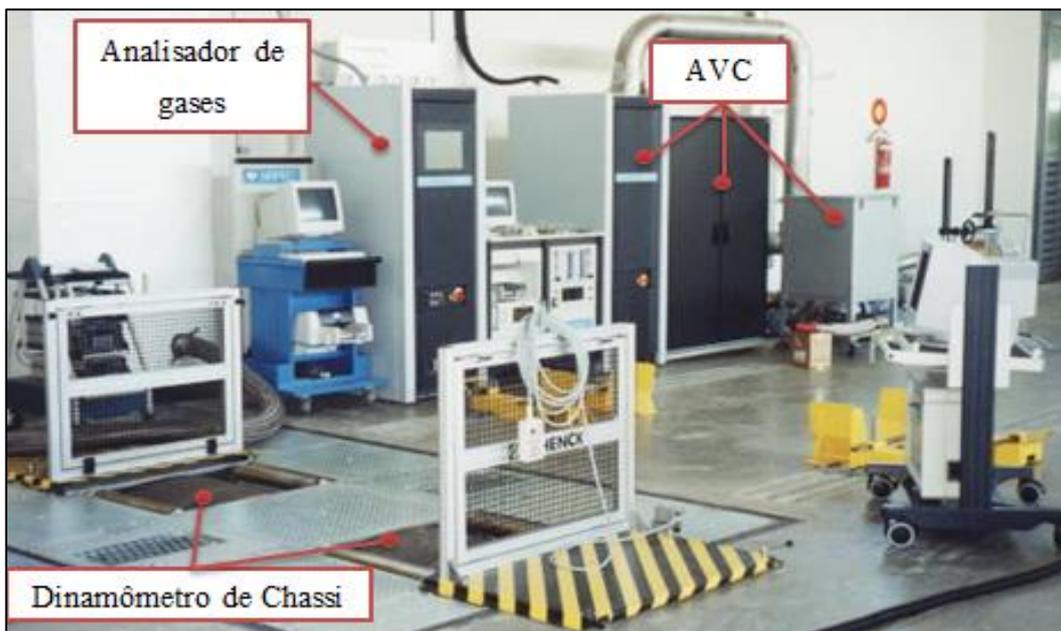


FIGURA 3.2 - Laboratório de emissões veiculares do Instituto de Inovação e Tecnologia SENAI – Campus CETEC - Belo Horizonte - Minas Gerais

FONTE: Dados de pesquisa, 2015.

Com os dados inseridos, o veículo ligado, posicionado e pré-condicionado, o dinamômetro é acelerado automaticamente a uma velocidade real superior a 105 km/h e a partir dos dados de entrada controla a desaceleração simulando a resistência total ao deslocamento. Este procedimento é executado por três vezes a fim de ser obter uma diferença máxima de 5 Newtons entre a força solicitada e a força simulada. O resultado desse procedimento são três novos coeficientes da equação da força resistiva f_{0d} , f_{1d} e f_{2d} que compensam a inércia dos rolos do dinamômetro e possibilitam a simulação dos tempos de desaceleração. O coeficiente f_{1d} surge na simulação do dinamômetro da curva característica de desaceleração do veículo como ajuste da inclinação da curva devido à massa dos componentes construtivos do dinamômetro em rotação. Estes três coeficientes serão os utilizados nas provas que exijam a simulação da resistência ao deslocamento em laboratório, como exemplo, o ensaio de emissões no ciclo urbano e estrada.

Para confirmar que os coeficientes f_{0d} , f_{1d} e f_{2d} poderão ser reproduzidos em todas as faixas de velocidade de funcionamento do dinamômetro, é realizado um

último procedimento de verificação e comparação em que o equipamento é novamente acelerado automaticamente, com o veículo ainda montado, à velocidade real igual ou superior a 105 km/h, e os tempos de desaceleração demandados para simular a força resistiva gerada por esses coeficientes são confrontados com os tempos demandados para simulação da força resistiva geradas por f_0 e f_2 . A diferença não pode ser maior que 2%, para mais ou para menos, caso isso ocorra, a etapa de determinação dos coeficientes f_{0d} , f_{1d} e f_{2d} deve ser novamente realizada.

Todo este procedimento será realizado por duas vezes. A primeira para obter f_{0d} , f_{1d} e f_{2d} a partir dos coeficientes da força resistiva obtidos pelo método dos mínimos quadrados, e a segunda para os coeficientes obtidos pelo método dos intervalos médios de desaceleração do veículo.

3.3 Determinação da emissão de CO₂ e do consumo de combustível

Para a determinação da emissão de CO₂ e do consumo de combustível em laboratório serão realizados três ensaios do ciclo urbano, descrito na norma NBR 6601 e demonstrado na FIG. (2.15), para cada proposta de coeficientes da equação da força obtidos pelos diferentes métodos. Nesta etapa, o reservatório de combustível do veículo foi drenado e abastecido com Gasool E22, uma mistura de gasolina pura com 22% de etanol anidro, como prescrito nas normas de emissões veiculares brasileiras. Para aproximar a massa de combustível dos ensaios em laboratório da massa de combustível utilizada na determinação das forças resistivas em pista de rolamento o veículo será abastecido com 25 litros. Após o abastecimento, o veículo deve ser posicionado como descrito no procedimento de simulação das forças resistivas em laboratório, os pneus dianteiros calibrados com pressão de 29 psi em condição de repouso e iniciado o ciclo de pré-condicionamento. O ciclo de pré-condicionamento consiste em realizar a primeira e a segunda fase do ciclo brasileiro de condução urbano sem a aquisição dos gases de escapamento, mas com o dinamômetro programado com os coeficientes f_{0d} , f_{1d} e f_{2d} correspondentes à força resistiva do veículo em questão. Ao término, o veículo deve ser retirado do dinamômetro e permanecer com o motor desligado em ambiente com temperatura controlada entre 20 e 30 °C por no mínimo 12 e no máximo 36 horas antes do início do teste de determinação do consumo de combustível e das emissões dos gases de escapamento, prazo este também exigido entre ensaios. Caso o prazo máximo

seja ultrapassado, será necessário realizar um novo pré-condicionamento e respeitado um novo tempo em condições de repouso.

A temperatura dos pneus será medida utilizando um pirômetro à uma distância de 20 centímetros em em três diferentes momentos do ciclo urbano, antes de iniciar o ensaio, no início do intervalo entre a fase II e a fase III e após o término do ensaio.

Para a sucção dos gases de escape é utilizado um amostrador de volume constante (AVC) conectado na saída do escapamento do automóvel. Este equipamento realiza a diluição da amostra dos gases de escape no ar ambiente, de modo que a vazão seja mantida constante por todo ensaio. Uma pequena parcela proporcional dessa mistura é separada em reservatórios específicos para posterior análise da concentração dos gases. O ar de diluição, ou ar ambiente, por possuir pequenas quantidades dos gases a serem controlados é simultaneamente armazenado em reservatórios separados para serem descontados na amostra oriunda do sistema de escape. O fluxograma desse processo pode ser visualizado na FIG. (3.3).

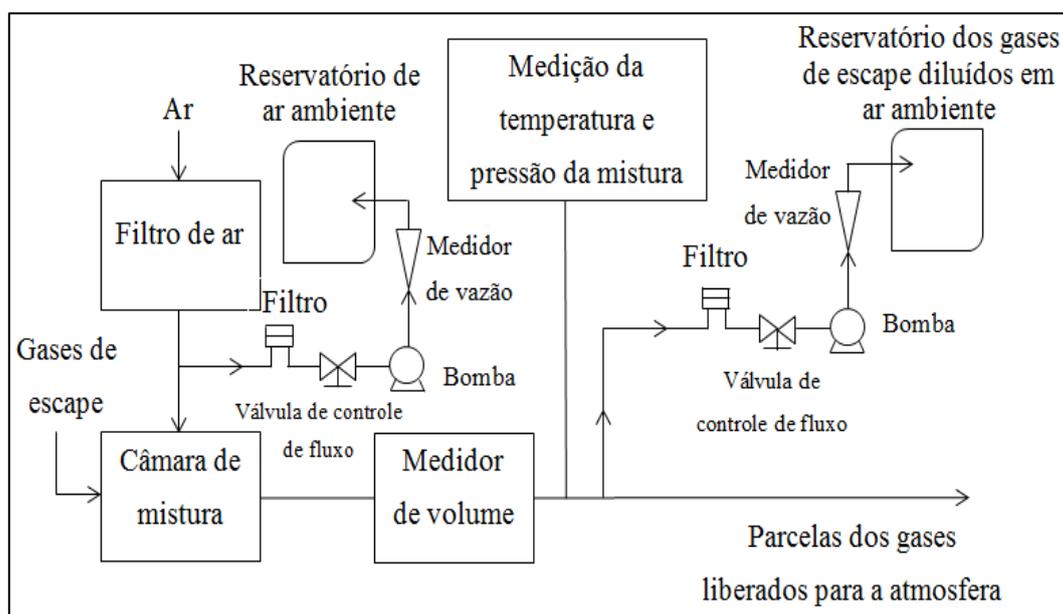


FIGURA 3.3 – Fluxograma do processo de funcionamento do AVC.

FONTE: Do próprio autor.

Para a determinação da concentração do CO_2 presente no gás de escape será utilizado o analisador do tipo IND, ou analisador por absorção de raios infravermelhos não dispersivos. O princípio de funcionamento deste analisador segundo ADACHI et al.

é que todo componente químico absorve energia infravermelha. O comprimento de onda a ser absorvido depende da estrutura química dos compostos e cada composto apresenta um espectro de absorção inerente e única. Este equipamento compara e analisa a absorção de infravermelho da amostra com a absorção do gás com concentração conhecida em uma célula de referência. Segundo CORRADINI (2005) o detector contém o gás sendo medido em dois compartimentos separados por um diafragma. A radiação não absorvida na célula de amostra é absorvida pelos gases no detector em um dos lados do diafragma. A radiação não absorvida pela célula de referência é absorvida pelo gás na outra metade do detector. Diferentes valores de absorção nas duas metades do detector resultam em diferença de pressão que é medida em termos da dilatação do diafragma. Ao término do ensaio, a partir da vazão de amostragem, da vazão total, da temperatura e pressão no momento de aquisição dos gases, a densidade do ar, da distância percorrida pelo veículo e da concentração obtida pelos analisadores é determinada a emissão de CO₂ em g/km em cada ciclo de condução. Dos gases de escapamento, o CO₂ é o que apresenta maior concentração, e por isso, sua variação é diretamente relacionada com o consumo de combustível. Para diminuir sua emissão é necessário reduzir o consumo de combustível dos motores.

Para a determinação do consumo de combustível será utilizado o método de balanço de carbono. Esse método é baseado na premissa que o ar de admissão não apresenta concentração de carbono e que todo carbono do combustível é emitido na forma de CO₂, CO e THC. Segundo ADACHI et al. (2014) essa metodologia é oficialmente aceita como procedimento para determinação do consumo de combustível por todo o mundo. O analisador do tipo IND, além de determinar a concentração de CO₂, é também utilizado na determinação da concentração de CO. Para a determinação da concentração de THC é utilizado o analisador do tipo DIC/DICA. Considerando a fórmula estequiométrica do combustível em questão e a determinação da concentração de carbono, é obtido o consumo de combustível em cada fase do ciclo de condução urbano e utilizando a EQ. (2.26) é calculado o consumo de combustível para o ciclo de condução.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e análises dos testes realizados para a produção deste trabalho divididos em três etapas. As etapas são sequenciais e seus resultados se complementam. Os dados obtidos serão expostos em forma de gráficos e quadros para melhor visualização, interpretação e entendimento.

4.1 Determinação da resistência total ao deslocamento (Teste “Coast Down”)

Para a determinação da resistência total ao deslocamento foi necessário realizar o teste “Coast Down” e encontrar os tempos de desaceleração para posteriormente calcular os coeficientes da equação da força resistiva seguindo o procedimento exposto na Seção (3.1).

Após o ajuste do ângulo de câmber do eixo dianteiro, alinhamento e balanceamento das rodas foi necessário se deslocar por aproximadamente 450 quilômetros até o trecho da pista de rolamento utilizado antes da realização do teste “Coast Down”. Não foi realizada uma nova verificação e nem um novo ajuste destes parâmetros após a realização do teste de desaceleração em pista, que foram considerados constantes para a sequência de testes dessa pesquisa.

Para registro dos tempos e da distância percorrida o veículo foi instrumentado com o GPS Racelogic Vbox 3i como pode ser visualizado na FIG. (4.1). Os pneus foram calibrados em condição de repouso com a pressão informada no QUADRO (3.1) e foi adicionada uma massa complementar de 51 kg no porta-malas do veículo que somadas à massa do executante totalizaram 136 kg.

Antes da medição dos tempos de desaceleração o veículo foi pré-condicionado por 40 minutos em rodagem com velocidades alternadas para aquecimento dos fluidos e componentes do veículo evitando o acionamento dos freios.

Foram realizadas um total de vinte desacelerações mostradas no APÊNDICE B, enumeradas em sequência, sendo dez no sentido de pista Pirapora/Ibiaí referenciado como 0°, e dez no sentido Ibiaí/Pirapora referenciado como 180°. Além dos tempos obtidos em cada desaceleração, são evidenciadas as distâncias percorridas

em cada uma delas. Apesar dos tempos de desaceleração serem obtidos em intervalos de 1 km/h, estes foram agrupados em intervalos de 5 km/h sem prejuízo dos dados obtidos.



FIGURA 4.1 - Volkswagen Fox instrumentado com GPS Racelogic VBox 3i.

FONTE: Próprio autor.



FIGURA 4.2 - Estação Meteorológica montada à beira da rodovia LMG 674.

FONTE: Próprio Autor

Além da temperatura ambiente controlada pela EMA foram medidas, a temperatura da pista durante as desacelerações número 1, 5, 10, 15 e 20 mostradas na TAB. (4.1). e as temperaturas dos pneus no início e no final das desacelerações, mostradas no QUADRO (4.1). Pelo GRA. (4.1) é possível visualizar a evolução dos valores dessa variável.

TABELA 4.1
Temperatura da pista e ambiente média.

Desaceleração	1	5	10	15	20
Temperatura da pista [°C]	52,3	49,5	52,8	53,8	58,0
Temperatura ambiente média [°C]	31,09	30,61	31,67	31,71	32,29

FONTE: Dados da pesquisa.

QUADRO 4.1
Temperatura dos pneus no início e final das desacelerações.

			Inicial	Final
Temperatura dos pneus [°C]	Dianteiro	Esquerdo	47,0	51,3
		Direito	47,3	53,0
	Traseiro	Esquerdo	49,0	51,5
		Direito	49,2	52,6

FONTE: Dados da pesquisa.

Observa-se que apesar do pré-condicionamento realizado por 40 minutos para atingir a temperatura ideal dos fluidos em aplicação no veículo antes do início das desacelerações, o aumento da temperatura da pista em 5,7°C e temperatura ambiente em 1,29°C provocaram um aumento médio da temperatura dos pneus de 4,0°C. Com o aumento da temperatura interna dos pneus, acontece a expansão do ar aumentando a pressão interna, modificando a forma e a área de contato do pneu para uma mesma carga o que consequentemente diminui a resistência ao rolamento como evidenciado no GRA. (2.3).

Os dados ambientais obtidos da estação meteorológica portátil são mostrados no APÊNDICE C e foram vinculados às desacelerações pelo registro de horário de cada evento. Pela programação feita para este equipamento, a cada 60 segundos seria gerado um registro a ser armazenado no datalogger que continha os dados mínimos, máximos e médios de temperatura, pressão e umidade, além da direção média do vento e sua velocidade máxima. Alguns destes dados, não apresentaram, para

a frequência aquisitada, variações significativas e por este motivo não foram utilizados e não serão mostrados.

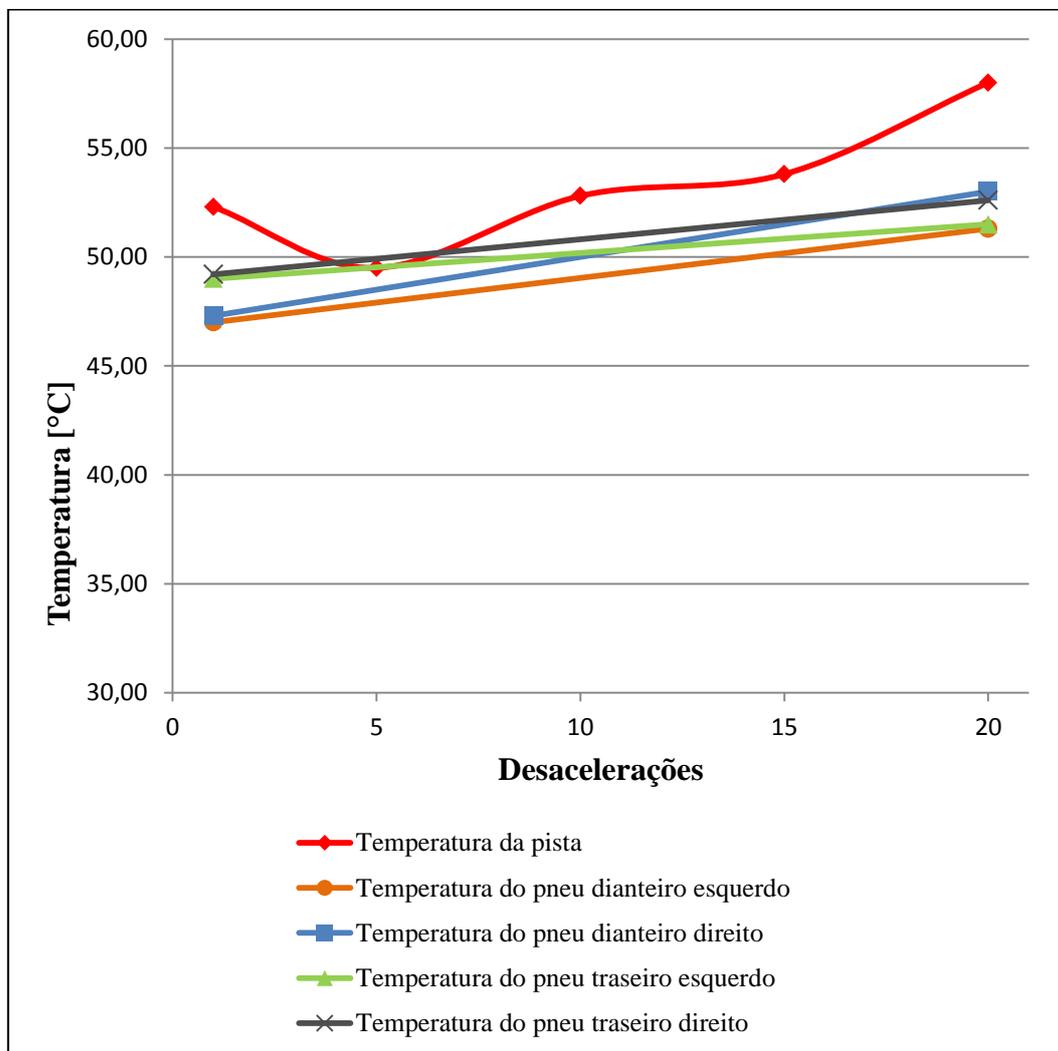


GRÁFICO 4.1 - Temperatura da pista e pneus

FONTE: Dados da pesquisa.

Como requisitos citados na Seção (3.1.2) e exigidos pela norma NBR 10312 para validação dos tempos adquiridos, em nenhuma das desacelerações foram ultrapassados os limites estabelecidos de temperatura ambiente, pressão ambiente e velocidade máxima longitudinal como evidenciado pelos GRA. 4.2 à 4.5.

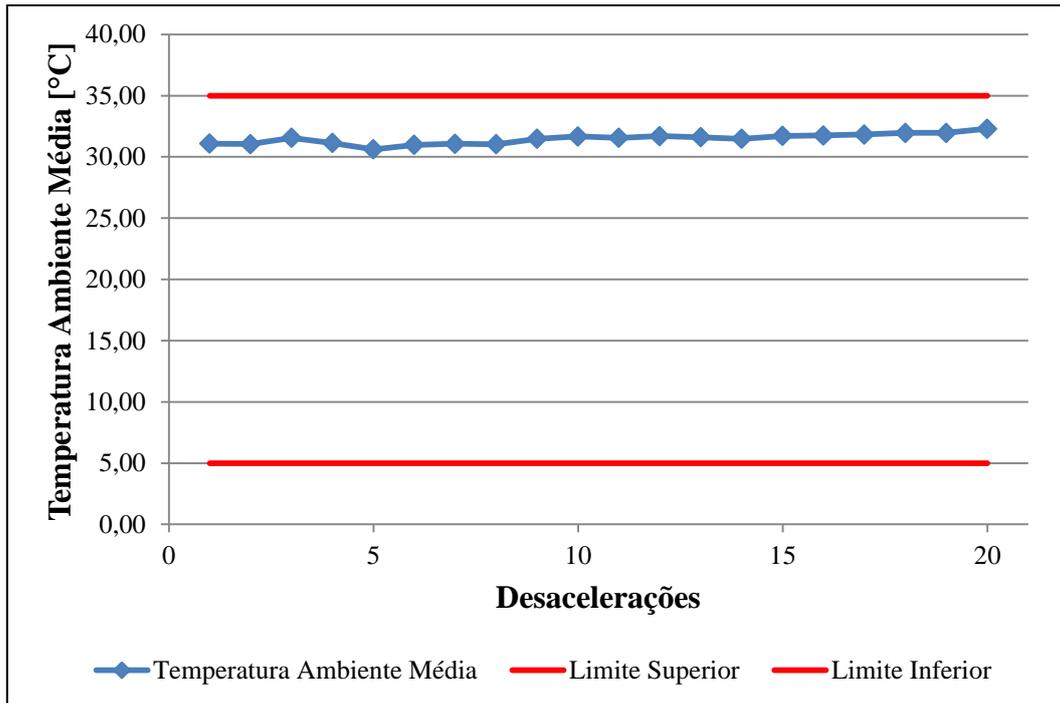


GRÁFICO 4.2 - Temperatura Ambiente Média.

FONTE: Dados da pesquisa.

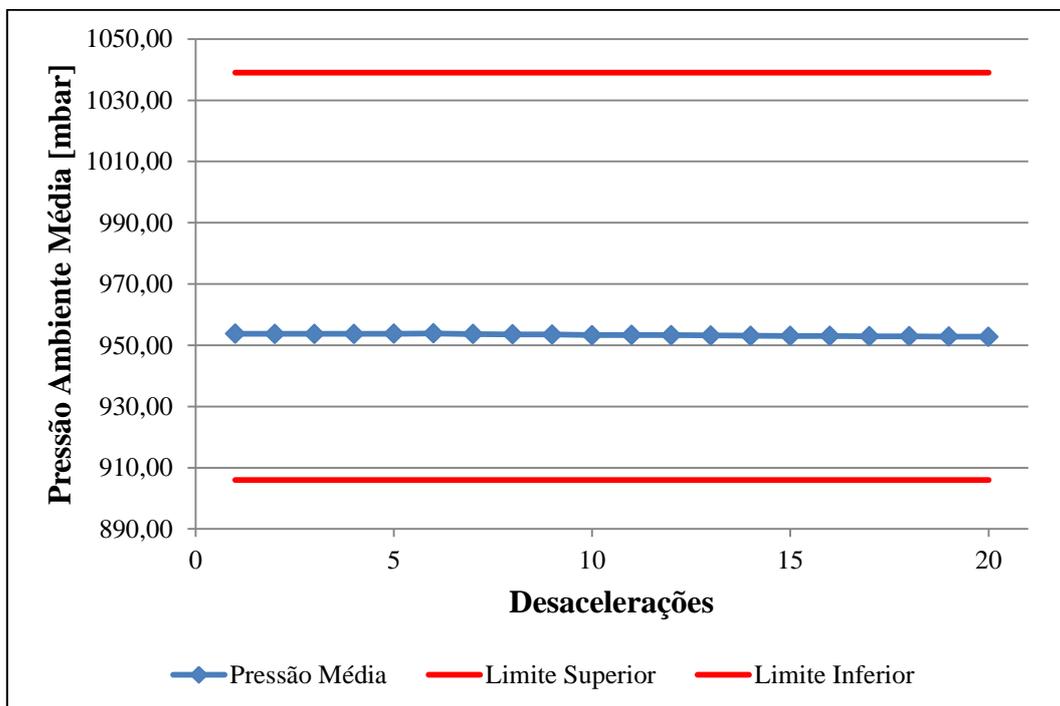


GRÁFICO 4.3 - Pressão Ambiente Média.

FONTE: Dados da pesquisa.

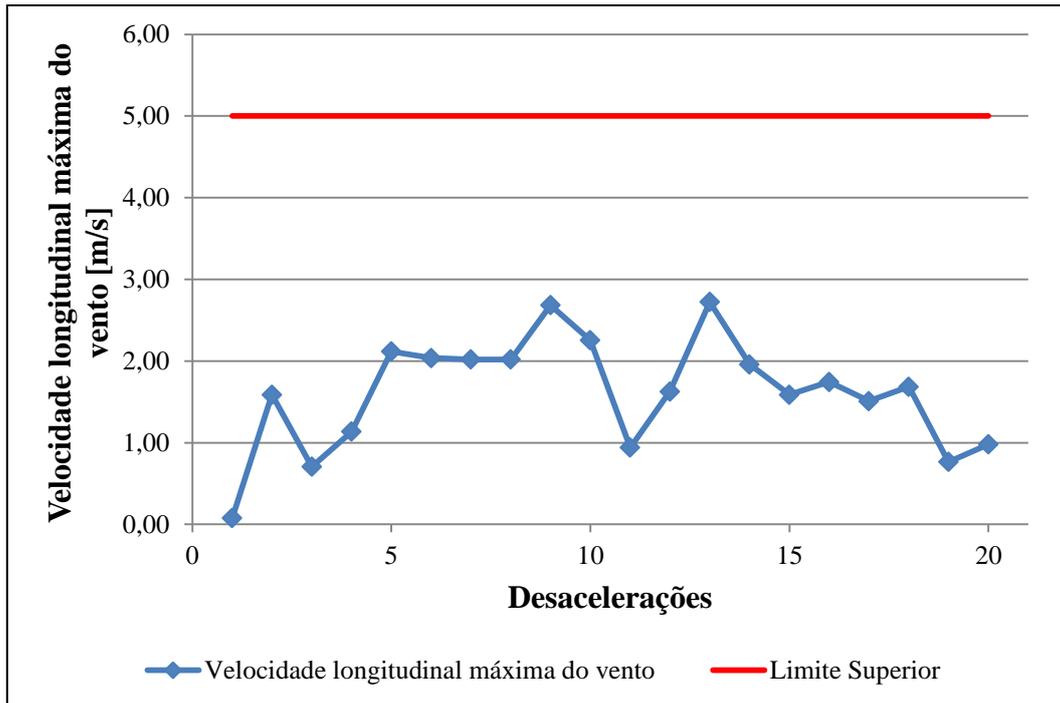


GRÁFICO 4.4 - Velocidade máxima do vento longitudinal.

FONTE: Dados da pesquisa.

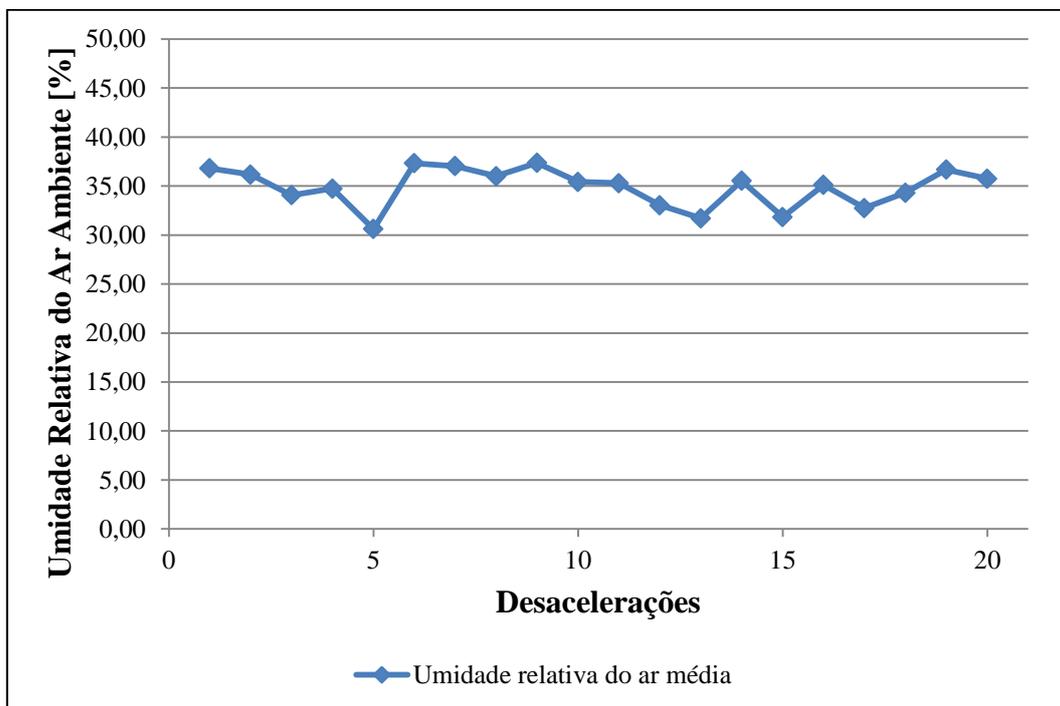


GRÁFICO 4.5 - Umidade Relativa Média do Ar Ambiente.

FONTE: Dados da pesquisa.

4.1.1 Determinação dos coeficientes da força resistiva pelo Método dos Mínimos Quadrados

Para a determinação dos coeficientes da equação da força resistiva pelo método dos mínimos quadrados foram realizados os cálculos mostrados no QUA. (2.1) para encontrar as variáveis X_1 , X_2 , X_3 , X_4 e X_5 . As variáveis foram calculadas individualmente para cada desaceleração e como os cálculos seguem o mesmo raciocínio, serão demonstrados apenas para as seis primeiras desacelerações.

A variável X_1 recebe o valor do somatório das acelerações médias para cada intervalo de 5 km/h considerado. Como é uma desaceleração os valores são negativos. A TAB. (4.2) mostra os valores encontrados.

A variável X_2 recebe o valor do somatório das velocidades médias em m/s para cada intervalo considerado. Estes valores não são derivados do teste de determinação da força resistiva e são idênticos para todas as desacelerações como evidenciado na TAB. (4.3).

TABELA 4.2

Valores obtidos da aceleração média.

X ₁ - Aceleração média [m/s ²]						
Sentido	180°	0°	180°	0°	180°	0°
V [km/h]	1	2	3	4	5	6
100,00	-	-	-	-	-	-
95,00	-0,39	-0,39	-0,40	-0,39	-0,40	-0,39
90,00	-0,36	-0,36	-0,36	-0,35	-0,36	-0,35
85,00	-0,33	-0,32	-0,33	-0,32	-0,34	-0,32
80,00	-0,30	-0,31	-0,30	-0,31	-0,30	-0,30
75,00	-0,28	-0,27	-0,28	-0,27	-0,28	-0,26
70,00	-0,24	-0,24	-0,25	-0,22	-0,25	-0,25
65,00	-0,24	-0,25	-0,24	-0,24	-0,24	-0,24
60,00	-0,23	-0,26	-0,23	-0,25	-0,24	-0,26
55,00	-0,21	-0,23	-0,21	-0,23	-0,21	-0,24
50,00	-0,17	-0,20	-0,17	-0,20	-0,17	-0,20
45,00	-0,15	-0,17	-0,16	-0,15	-0,16	-0,16
40,00	-0,16	-0,16	-0,15	-0,16	-0,16	-0,16
35,00	-0,17	-0,16	-0,17	-0,16	-0,17	-0,17
30,00	-0,16	-0,16	-0,16	-0,15	-0,16	-0,16
SOMA	-3,39	-3,49	-3,43	-3,41	-3,43	-3,46

FONTE: Dados da pesquisa.

TABELA 4.3
Valores obtidos de velocidade média.

X ₂ - Velocidade Média [m/s]						
Sentido	180°	0°	180°	0°	180°	0°
V [km/h]	1	2	3	4	5	6
100,00	-	-	-	-	-	-
95,00	27,08	27,08	27,08	27,08	27,08	27,08
90,00	25,69	25,69	25,69	25,69	25,69	25,69
85,00	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31
80,00	22,92	22,92	22,92	22,92	22,92	22,92
75,00	21,53	21,53	21,53	21,53	21,53	21,53
70,00	20,14	20,14	20,14	20,14	20,14	20,14
65,00	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75
60,00	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36	17,36
55,00	15,97	15,97	15,97	15,97	15,97	15,97
50,00	14,58	14,58	14,58	14,58	14,58	14,58
45,00	13,19	13,19	13,19	13,19	13,19	13,19
40,00	11,81	11,81	11,81	11,81	11,81	11,81
35,00	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42
30,00	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03
SOMA	252,78	252,78	252,78	252,78	252,78	252,78

FONTE: Dados da pesquisa.

A variável X_3 recebe o valor do somatório das velocidades médias ao quadrado em m/s^2 . Assim como a variável X_2 , esses valores dependem exclusivamente dos intervalos considerados. Os valores são mostrados na TAB. (4.4).

A TABELA (4.5) mostra os valores obtidos da variável X_4 , que recebe o valor do somatório da velocidade média dos intervalos elevada à quarta potência, valores estes que independem dos valores obtidos no teste de determinação da resistência por desaceleração livre realizado em pista.

A variável X_5 recebe o somatório da multiplicação dos intervalos de aceleração da variável X_1 pelos intervalos da velocidade média ao quadrado da variável X_3 . Os valores obtidos são mostrados na TAB. (4.6).

Com as cinco variáveis determinadas foram calculados os coeficientes da força resistiva f_0 e f_2 utilizando a EQ. (2.20) e a EQ. (2.21). Os coeficientes encontrados foram então corrigidos para as condições padrões de pressão e temperatura de cada desaceleração utilizando os dados da estação meteorológica, a EQ. (2.24) e a EQ. (2.25) para determinação dos coeficientes f_0 e f_2 . Os valores encontrados são mostrados na TAB. (4.7) para as seis primeiras desacelerações.

TABELA 4.4

Valores das velocidades médias ao quadrado.

X ₃ - Velocidade Média ² [m/s] ²						
Sentido	180°	0°	180°	0°	180°	0°
V [km/h]	1	2	3	4	5	6
100,00	-	-	-	-	-	-
95,00	733,51	733,51	733,51	733,51	733,51	733,51
90,00	660,20	660,20	660,20	660,20	660,20	660,20
85,00	590,76	590,76	590,76	590,76	590,76	590,76
80,00	525,17	525,17	525,17	525,17	525,17	525,17
75,00	463,45	463,45	463,45	463,45	463,45	463,45
70,00	405,57	405,57	405,57	405,57	405,57	405,57
65,00	351,56	351,56	351,56	351,56	351,56	351,56
60,00	301,41	301,41	301,41	301,41	301,41	301,41
55,00	255,11	255,11	255,11	255,11	255,11	255,11
50,00	212,67	212,67	212,67	212,67	212,67	212,67
45,00	174,09	174,09	174,09	174,09	174,09	174,09
40,00	139,37	139,37	139,37	139,37	139,37	139,37
35,00	108,51	108,51	108,51	108,51	108,51	108,51
30,00	81,50	81,50	81,50	81,50	81,50	81,50
SOMA	5002,89	5002,89	5002,89	5002,89	5002,89	5002,89

FONTE: Dados da pesquisa.

TABELA 4.5

Velocidade média elevada à quarta potência.

X ₄ - Velocidade Média ⁴ [m/s] ⁴						
Sentido	180°	0°	180°	0°	180°	0°
V [km/h]	1	2	3	4	5	6
100,00	-	-	-	-	-	-
95,00	538032,44	538032,44	538032,44	538032,44	538032,44	538032,44
90,00	435869,95	435869,95	435869,95	435869,95	435869,95	435869,95
85,00	348997,41	348997,41	348997,41	348997,41	348997,41	348997,41
80,00	275807,32	275807,32	275807,32	275807,32	275807,32	275807,32
75,00	214781,47	214781,47	214781,47	214781,47	214781,47	214781,47
70,00	164490,96	164490,96	164490,96	164490,96	164490,96	164490,96
65,00	123596,19	123596,19	123596,19	123596,19	123596,19	123596,19
60,00	90846,89	90846,89	90846,89	90846,89	90846,89	90846,89
55,00	65082,07	65082,07	65082,07	65082,07	65082,07	65082,07
50,00	45230,06	45230,06	45230,06	45230,06	45230,06	45230,06
45,00	30308,50	30308,50	30308,50	30308,50	30308,50	30308,50
40,00	19424,32	19424,32	19424,32	19424,32	19424,32	19424,32
35,00	11773,76	11773,76	11773,76	11773,76	11773,76	11773,76
30,00	6642,38	6642,38	6642,38	6642,38	6642,38	6642,38
SOMA	2370883,71	2370883,71	2370883,71	2370883,71	2370883,71	2370883,71

FONTE: Dados da pesquisa.

TABELA 4.6

Valores da aceleração média pela velocidade média ao quadrado.

X ₅ - Aceleração Média · Velocidade Média ² [m ² /s ³]						
Sentido	180°	0°	180°	0°	180°	0°
V [km/h]	1	2	3	4	5	6
100,00	-	-	-	-	-	-
95,00	-283,78	-287,79	-295,29	-285,37	-292,75	-286,97
90,00	-238,17	-239,41	-240,04	-232,73	-238,17	-233,32
85,00	-194,89	-186,48	-196,29	-191,26	-200,12	-189,93
80,00	-159,96	-161,37	-157,54	-162,45	-155,19	-156,53
75,00	-128,99	-124,50	-129,25	-126,21	-131,36	-121,45
70,00	-98,48	-98,65	-100,59	-88,71	-101,13	-100,23
65,00	-83,47	-86,73	-85,97	-84,04	-84,77	-83,04
60,00	-68,29	-78,10	-69,31	-75,16	-71,80	-77,96
55,00	-52,65	-59,55	-53,28	-59,15	-53,69	-60,46
50,00	-35,85	-43,25	-37,06	-41,90	-35,46	-42,32
45,00	-26,14	-29,13	-27,67	-26,34	-27,95	-27,32
40,00	-22,51	-22,64	-21,41	-22,33	-22,02	-22,75
35,00	-18,84	-17,63	-18,27	-17,13	-18,27	-18,27
30,00	-12,94	-13,44	-13,32	-12,47	-13,09	-13,27
SOMA	-1424,94	-1448,67	-1445,28	-1425,23	-1445,77	-1433,81

FONTE: Dados da pesquisa.

TABELA 4.7

Coeficientes da equação da força resistiva para as seis primeiras desacelerações obtidos pelo método dos mínimos quadrados.

Sentido	180°	0°	180°	0°	180°	0°
Coeficiente	1	2	3	4	5	6
\hat{f}_0	134,12	152,98	133,46	140,65	134,41	152,03
\hat{f}_2	0,035	0,032	0,036	0,034	0,035	0,032
f_0	146,91	167,50	146,72	154,12	146,6	166,39
f_2	0,038	0,036	0,040	0,037	0,039	0,036

FONTE: Dados da pesquisa.

Com os coeficientes das vinte desacelerações determinados foi calculada a média global dos valores corrigidos e a média para cada sentido de pista como exposto no QUADRO 4.2. Foram adicionados 10% aos valores encontrados como recomendado por norma caso o veículo tenha ar condicionado. Os valores dos coeficientes obtidos com a média global e acréscimo dos 10% serão os utilizados na próxima etapa de simulação da força resistiva pelo dinamômetro. Nota-se que para os diferentes sentidos houve uma diferença no coeficiente f_0 de 6,82% em relação à média global e que o valor no sentido 180° foi menor. Essa diferença pode ser justificada pela presença de

pequenos acives no sentido 0° que apesar de estar dentro da tolerância exigida por norma influenciam nos resultados obtidos. Já para o coeficiente f_2 , houve uma diferença de 3,33% e o valor no sentido 180° foi maior. Essa diferença é explicada por uma maior influencia da força de resistência aerodinâmica devido à uma maior velocidade do vento no sentido oposto ao deslocamento.

QUADRO 4.2

Média dos coeficientes da equação da força resistiva determinados pelo método dos mínimos quadrados com e sem os 10%.

Sentido	Sem 10%		Com 10%	
	f_0	f_2	f_0	f_2
Geral	154,54	0,038	169,99	0,042
180°	144,00	0,039	158,40	0,043
0°	165,08	0,037	181,58	0,041
Diferença percentual	6,82%	3,33%	6,82%	3,33%

FONTE: Dados da pesquisa.

4.1.2 Determinação dos coeficientes pelo método dos intervalos médios de desaceleração.

Para a determinação dos coeficientes da equação da força resistiva pelo método que considera dois intervalos da curva de desaceleração utiliza-se a EQ. (2.22) e a EQ. (2.23). As velocidades de referência consideradas nas equações são V_1 igual a 11,11 m/s ou 40 km/h e V_2 igual a 22,22 m/s ou 80 km/h respectivamente. Os coeficientes encontrados foram então corrigidos para as condições padrões de pressão e temperatura de cada desaceleração utilizando os dados da estação meteorológica, a EQ. (2.24), a EQ. (2.25) e determinados os coeficientes f_0 e f_2 . Como os coeficientes são calculados para cada desaceleração e seguem o mesmo raciocínio, assim como foi feito no primeiro método, serão mostrados os resultados na TAB. (4.8) apenas para as seis primeiras desacelerações.

Com os coeficientes das vinte desacelerações determinados foi calculada a média global dos valores corrigidos e a média para cada sentido de pista como exposto no QUADRO 4.3. Aos coeficientes encontrados foram adicionados 10% como recomendado por norma caso o veículo possua ar condicionado. Nota-se que para os

diferentes sentidos houve uma diferença de 0,12% em relação à media global para o coeficiente f_0 e que o valor no sentido 0° foi menor. Por considerar apenas uma parte do trecho das desacelerações neste método obtém-se diferenças reduzidas. Para o coeficiente f_2 , houve uma diferença de 1,42% e o valor no sentido 180° foi maior, mantendo o mesmo comportamento do método de cálculo dos mínimos quadrados, por estar diretamente relacionada com a força de resistência aerodinâmica e conseqüentemente à velocidade do vento e sua direção, que não se altera ao mudar o método de cálculo.

TABELA 4.8

Coeficientes da equação da força resistiva obtidos através do método que considera dois intervalos de desaceleração para as seis primeiras desacelerações.

Sentido	180°	0°	180°	0°	180°	0°
Coeficiente	1	2	3	4	5	6
f_0	155,90	149,82	144,52	146,66	147,62	155,75
f_2	0,030	0,030	0,032	0,029	0,032	0,029
f_0	170,76	164,05	158,88	160,70	161,09	170,46
f_2	0,033	0,033	0,036	0,033	0,035	0,032

FONTE: Dados da pesquisa.

QUADRO 4.3

Média dos coeficientes da equação da força resistiva determinados pelo método que considera dois intervalos da desaceleração.

Sentido	Sem 10%		Com 10%	
	f_0	f_2	f_0	f_2
Geral	163,55	0,034	179,90	0,038
180°	163,75	0,035	180,12	0,038
0°	163,35	0,034	179,69	0,037
Diferença percentual	0,12%	1,42%	6,82%	1,42%

FONTE: Dados da pesquisa.

4.1.3 Comparação entre as componentes da força resistiva a partir dos coeficientes determinados pelos dois métodos.

Com a determinação dos coeficientes da equação da força resistiva total pelos dois métodos prescritos em norma foram obtidas diferenças de 5,51% no valor do coeficiente f_0 e de 9,52% no valor do coeficiente f_2 . Sabendo quais grandezas cada um

representa, é possível analisar a influência de cada força resistiva na resistência ao deslocamento do veículo utilizando a EQ (2.14). Para essa análise foi considerada a velocidade de 39,21 km/h, valor que segundo Barlow et. al (2009) representa a velocidade de cruzeiro média do ciclo urbano a ser realizado para determinação do consumo de combustível e emissão de CO₂.

A primeira força a ser determinada é à força de resistência aerodinâmica. Com o valor do coeficiente f_2 , sem os 10% acrescidos e considerando a média da densidade do ar para as vinte desacelerações foi encontrado o coeficiente de arrasto, C_x , para o método dos mínimos quadrados igual a 0,42 e para o método dos intervalos médios de desaceleração igual a 0,37. Utilizando a EQ. (2.6) considerando a velocidade de 39,21 km/h, a média dos valores da densidade do ar corrigidos para a temperatura e pressão de cada aceleração, o C_x calculado e a área frontal, foram encontrados os valores da força de resistência aerodinâmica apresentados na TAB. (4.9).

TABELA 4.9

Determinação da força de resistência aerodinâmica a partir dos coeficientes encontrados em cada método.

$V_{\text{média}}$ [km/h]	$\rho_{\text{médio}}$ [kg/m ³]	F_A [N]	
		Método dos mínimos quadrados	Método dos intervalos médios de desaceleração
39,21	1,090	58,66	52,50

FONTE: Dados de pesquisa.

A diferença da força de resistência aerodinâmica calculada para os dois métodos considerando a velocidade de 39,21 km/h foi de 6,16 N, sendo a do primeiro método a de maior grandeza, o que é uma consequência do maior valor do coeficiente f_2 .

A força de resistência ao rolamento está relacionada ao valor do coeficiente f_0 e para determiná-la deve-se conhecer a força de resistência inercial e a força de resistência aerodinâmica provocada pelo vento. Para calcular a força de resistência aerodinâmica provocada pela velocidade do vento, F_{Aw} , foi considerado para as vinte desacelerações, o valor médio da velocidade do vento durante a desaceleração, o módulo do valor médio do vetor longitudinal da velocidade do vento, o valor médio da

densidade do ar e o valor de C_x encontrado para cada método. O resultado é mostrado na TAB. (4.10).

TABELA 4.10

Força de resistência aerodinâmica provocada pelo vento para os dois métodos considerando valores médios.

V_{wx} média [km/h]	$\rho_{médio}$ [kg/m ³]	Módulo do vetor da velocidade longitudinal	F_{Aw} [N]	
			Método dos mínimos quadrados	Método dos intervalos médios de desaceleração
2,77	1,090	0,62	0,1130	0,1011

FONTE: Dados de pesquisa.

A norma NBR 10312 informa que a massa equivalente à inércia dos componentes em rotação quando não disponível, pode ser estimada em 3% da massa de ensaio do veículo. Analisando o coeficiente f_0 e as variáveis que o compõem, pode-se perceber que adicionando esta quantidade à massa, adiciona-se a mesma porcentagem no valor da força de resistência ao rolamento, F_{RR} . Logo, conclui-se que a força de resistência inercial, F_i , considerada equivale a 3% da força de resistência ao rolamento para qualquer velocidade.

Para determinar F_{RR} deve-se calcular o coeficiente da resistência ao rolamento, f_r a partir do coeficiente f_0 sem o acréscimo dos 10% no seu valor, para os dois métodos, utilizando a EQ. (2.13). Com o resultado, utiliza-se a EQ. (2.1) para encontrar a força de resistência ao rolamento, e conseqüentemente, a força de resistência inercial. Os valores de f_r , F_{RR} e F_i são mostrados no QUADRO 4.4 para os dois métodos de determinação dos coeficientes da equação da força resistiva total.

QUADRO 4.4

Determinação do Coeficiente de Resistência ao Rolamento, Força de Resistência ao Rolamento e Força Inercial a partir do coeficiente f_0 .

	Método dos mínimos quadrados	Método dos intervalos médios de desaceleração
f_r	0,0129	0,0137
F_{RR} [N]	149,93	158,68
F_i [N]	4,50	4,76

FONTE: Dados de pesquisa.

Com essa metodologia de cálculo, o coeficiente de resistência ao rolamento é considerado constante para toda desaceleração, e conseqüentemente a força de resistência ao rolamento do veículo e a força inercial. A força inercial, que compreende as inércias rotativas e as em translação, pela consideração da norma é derivada de um valor exclusivamente da massa.

A força de resistência mecânica, desconsiderada na desaceleração, mas considerada para a simulação em laboratório, como recomendado por norma quando o veículo apresenta ar condicionado foi de 10% do valor da força resistiva total determinada a partir dos coeficientes para cada método. O valor encontrado da força de resistência mecânica, F_M , para a velocidade média do ciclo de condução urbano que é de 39,21 km/h é mostrado na TAB. (4.11) para cada método.

TABELA 4.11

Valor da força de resistência mecânica à 39,21 km/h para os dois métodos de cálculo.

$V_{\text{média}}$ [km/h]	F_M [N]	
	Método dos mínimos quadrados	Método dos intervalos médios de desaceleração
39,21	21,32	21,60

FONTE: Dados de pesquisa.

A força de resistência ao aclave foi desconsiderada neste trabalho. Porém, ao analisar separadamente os tempos médios obtidos para os dois sentidos de pista e desconsiderando a influência da velocidade e direção do vento percebe-se que no sentido de pista 0°, os tempos foram inferiores gerando coeficientes de maior grandeza o que seria justificado por um aclave nesse sentido de pista. Considerando a massa do veículo utilizado nas desacelerações, e um aclave de 1°, tem-se uma adição de força resistiva de 21,25 N. Por isso é considerado o tempo médio das desacelerações nos dois sentidos para minimizar a influência dessa força nos cálculos.

Com todas as forças resistivas calculadas para a velocidade de 39,21 km/h é possível visualizar a partir do GRA. (4.6) que para essa velocidade as forças com maior influência na resistência total ao deslocamento são as forças de resistência ao rolamento e resistência aerodinâmica, respectivamente, representando aproximadamente 89% do seu valor.

Pelo gráfico é possível notar que apesar dos valores da força resistiva total para os diferentes métodos ficarem próximos, as componentes dessa força apresentam influências diferentes, o que pode alterar o direcionamento de um projeto na busca pela melhoria da eficiência energética.

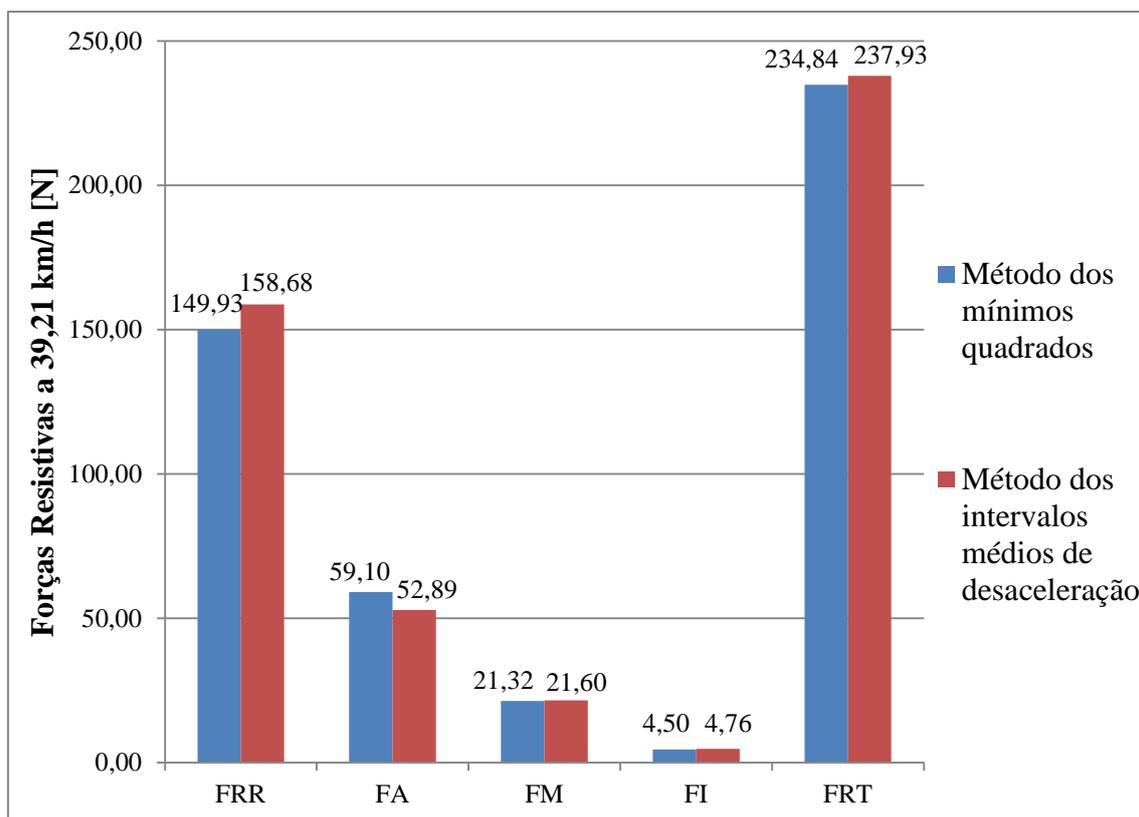


GRÁFICO 4.6 - Forças Resistivas a 39,21 km/h.

FONTE: Dados da pesquisa.

No GRA. (4.7), é mostrada a influência de cada força resistiva para as velocidades de 30 a 100 km/h dos dois métodos. Nota-se que a partir de 63 km/h para os valores das forças encontrados através do método dos mínimos quadrados, referenciado como método 1, e 65 km/h para os valores das forças encontrados através do método dos intervalos médios de desaceleração, referenciado como método 2, a força de resistência aerodinâmica passa a ser maior que a força de resistência ao rolamento.

Comparando a força de resistência ao deslocamento total resultantes dos dois métodos de cálculo dos coeficientes nota-se que para velocidades inferiores a 49 km/h o método dos mínimos quadrados resulta em uma força resistiva total menor que a

do método dos intervalos médios de desaceleração, e que a partir dessa velocidade, passa a ser superior.

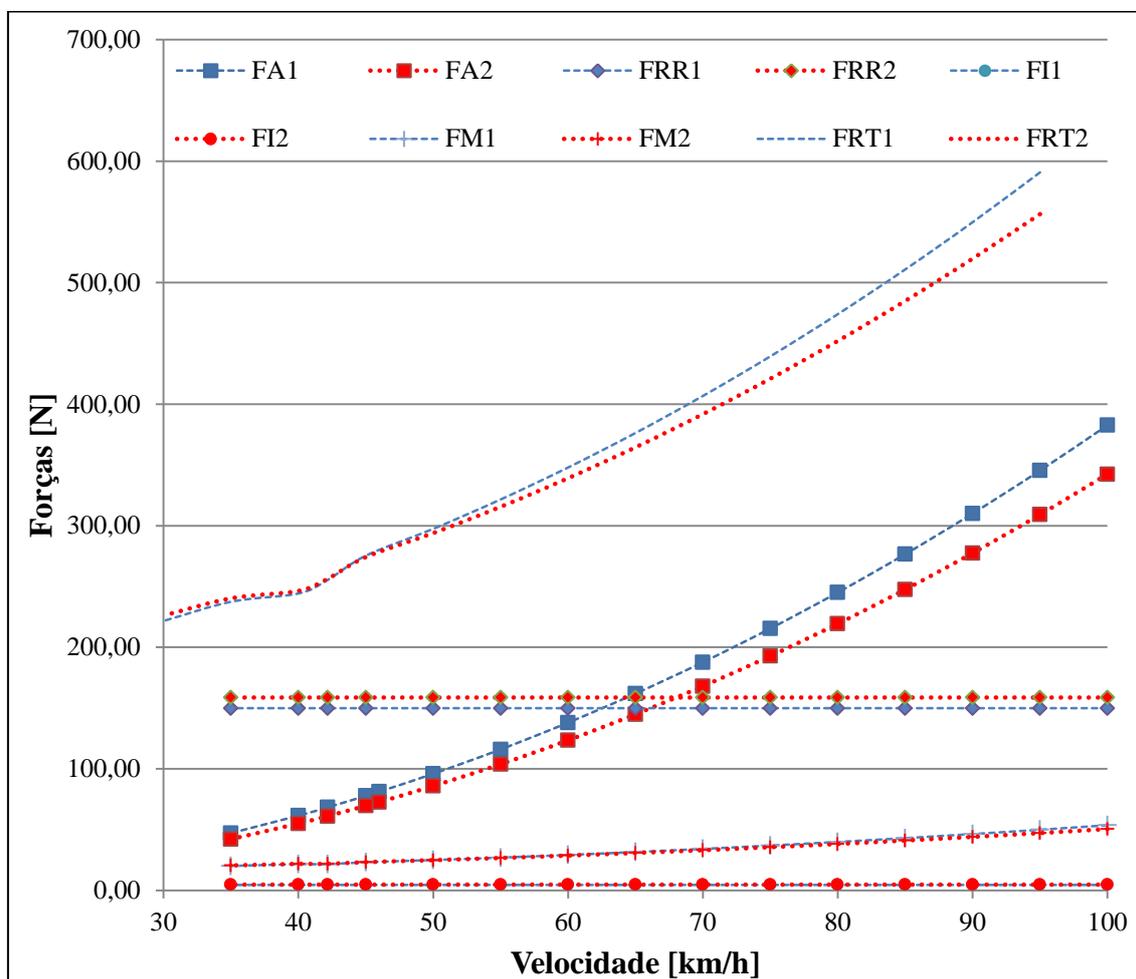


GRÁFICO 4.7 - Influência das forças resistivas em cada velocidade.

FONTE: Dados da pesquisa

Além do ciclo urbano utilizado neste trabalho, órgãos regulamentadores utilizam o ciclo estrada normatizado pela NBR 7024 para mensurar as emissões veiculares e consumo de combustível dos veículos leves simulando as condições de rodagem em rodovias e estradas. Segundo Barlow et. al. (2009) este ciclo apresenta uma velocidade média de 79,92 km/h e é percorrida uma distância total de 25967,54 m sendo os gases para mensurar as emissões e a autonomia adquiridos em metade dessa distância, 12893,77 m. Realizando uma análise utilizando os coeficientes encontrados pelos dois métodos de cálculo, considerando a velocidade média do ciclo e adicionando os 10% devido a presença do ar condicionado, encontra-se uma força resistiva total de

438,06 N para o método dos mínimos quadrados e 419,81 N para o método dos intervalos médios de desaceleração, o que resulta em uma diferença de 18,25 N para os dois métodos, diferença essa superior à encontrada para o ciclo urbano.

4.2 Simulação da força resistiva no dinamômetro

Com os tempos das desacelerações adquiridos através do teste “Coast Down” e os coeficientes da equação da força resistiva calculados e a classe de inércia determinada, a próxima etapa é o procedimento de simulação da força resistiva pelo dinamômetro.

Para isto não foram realizadas modificações na parte estrutural do veículo, carenagens, equipamentos internos e externos. Como realizado no ensaio de determinação da resistência ao deslocamento em pista, foi adicionado ao “porta-malas” do veículo 46 kg que somados à massa do executante totalizaram 136 kg. O veículo foi então posicionado com as rodas sob os rolos do dinamômetro, como pode ser visualizado na FIG. (4.3), os pneus dianteiros calibrados com pressão de 29 psi em condições de repouso, para início do pré-condicionamento, citado detalhadamente na Seção (3.2).



FIGURA 4.3 - Veículo posicionado para simulação das forças resistivas pelo dinamômetro.

FONTE: Dados da pesquisa.

Após o pré-condicionamento, com os dados inseridos no software de controle do dinamômetro, o veículo com o motor ligado e o executante embarcado, o dinamômetro acelera automaticamente os rolos para obter uma velocidade real superior à 105 km/h e inicia a simulação das forças resistivas em função da velocidade. Os resultados obtidos são novos coeficientes, f_{0d} , f_{1d} e f_{2d} que compensam a inércia dos componentes construtivos do dinamômetro.

4.2.1 Simulação da força resistiva pelo dinamômetro com os coeficientes obtidos pelo método dos mínimos quadrados.

Para a simulação da força resistiva pelo dinamômetro com os coeficientes obtidos pelo método dos mínimos quadrados, foram inseridos f_0 igual a 169,99 N e o coeficiente f_2 igual a 0,042 N/(km/h)². Foram realizadas as desacelerações automáticas pelo dinamômetro e obtida uma diferença entre a força solicitada e a força simulada de 4,326 N, sendo o limite 5 N. Os coeficientes resultantes desse procedimento são demonstrados na TAB. (4.12).

TABELA 4.12

Coeficientes do dinamômetro para simulação das forças resistivas com os coeficientes de entrada obtidos a partir do método dos mínimos quadrados.

Coeficientes	f_{0d} [N]	f_{1d} [N/km/h]	f_{2d} [N/(km/h) ²]
	103,14	-0,361	0,043
ΔF	4,326N		

FONTE: Dados da pesquisa.

Após a determinação dos coeficientes é realizado um procedimento de verificação pelo dinamômetro aonde os tempos derivados dos coeficientes resultantes da simulação da força resistiva comparados aos tempos derivados dos coeficientes inseridos não podem ser superiores a 2%. Neste caso, a diferença média entre os tempos demandados e os tempos obtidos foi de 0,67%, o que habilita a utilização dos coeficientes obtidos no ensaio de determinação do consumo para este método.

4.2.2 Simulação da força resistiva pelo dinamômetro com os coeficientes obtidos pelo método dos intervalos médios de desaceleração.

Para simulação da força resistiva pelo dinamômetro com os coeficientes obtidos a partir do método dos intervalos médios de desaceleração foram inseridos os coeficientes f_0 igual a 179,90 N e o coeficiente f_2 igual a 0,038 N/(km/h)². Foram realizadas as desacelerações automáticas pelo dinamômetro e obtida uma diferença entre a força solicitada e a força simulada de 3,229 N, sendo o limite 5 N. Os coeficientes resultantes desse procedimento são mostrados na TAB. (4.13).

No procedimento de verificação a diferença média entre os tempos demandados e os tempos obtidos foi de -0,45% o que habilita a utilização dos coeficientes obtidos no ensaio de determinação do consumo para este método.

TABELA 4.13

Coeficientes do dinamômetro para simulação das forças resistivas com os coeficientes de entrada obtidos a partir do método dos intervalos médios de desaceleração.

Coeficientes	f_{0d} [N]	f_{1d} [N/km/h]	f_{2d} [N/(km/h) ²]
	109,06	-0,251	0,038
ΔF [N]	3,229		

FONTE: Dados da pesquisa.

4.2.3 Comparação entre a força resistiva total obtida no teste “Coast Down” e a obtida no dinamômetro.

Analisando os resultados dos coeficientes obtidos no procedimento de simulação da força resistiva e evidenciados na TAB. (4.12) e TAB. (4.13), houve uma redução percentual no coeficiente dependente da velocidade de ordem zero da equação da força resistiva, f_{0d} de 60,71% para o método dos mínimos quadrados e de 60,62% para o método dos intervalos médios de desaceleração se comparados com o coeficiente f_0 determinado em pista. Essa redução se deve à compensação do dinamômetro às inércias rotativas do equipamento e pode-se considerar que essa redução teve a mesma proporção nos coeficientes dos dois métodos. Já o coeficiente f_{2d} do método dos mínimos quadrados teve um aumento de 0,001 no valor e o do método dos intervalos

médios de desaceleração manteve-se inalterado. Como este coeficiente representa a força de resistência aerodinâmica, este deve manter o mesmo valor de entrada. Pequenas alterações são aceitáveis uma vez que o dinamômetro acrescenta na equação o coeficiente dependente da velocidade de ordem um para ajustar a curva de desaceleração.

Ao verificar a diferença dessas alterações nos valores da força resistiva obtidas em pista e em laboratório nota-se uma coerência na redução dos valores como demonstrado no QUADRO 4.5. Para a velocidade média do ensaio, 39,21 km/h, a diferença é de 33,17% para o método dos mínimos quadrados e 33,74% para o método dos intervalos médios de desaceleração.

QUADRO 4.5

Diferença entre a força resistiva obtida em pista e a obtida em laboratório.

Velocidade [km/h]	Método dos mínimos quadrados			Método dos intervalos médios de desaceleração		
	$F_{RT\ Dina}$ [N]	F_{RT} [N]	Diferença [%]	$F_{RT\ Dina}$ [N]	F_{RT} [N]	Diferença [%]
100,00	501,74	590,70	15,06	463,96	556,39	16,61
95,00	461,39	549,72	16,07	428,17	519,72	17,62
90,00	423,18	510,84	17,16	394,27	484,93	18,70
85,00	387,13	474,06	18,34	362,28	452,01	19,85
80,00	353,22	439,38	19,61	332,18	420,98	21,09
75,00	321,47	406,80	20,98	303,99	391,82	22,42
70,00	291,86	376,31	22,44	277,69	364,54	23,82
65,00	264,41	347,93	24,01	253,3	339,13	25,31
60,00	239,10	321,64	25,66	230,8	315,61	26,87
55,00	215,95	297,45	27,40	210,21	293,96	28,49
50,00	194,94	275,36	29,21	191,51	274,19	30,15
45,00	176,09	255,37	31,05	174,72	256,30	31,83
40,00	159,38	237,48	32,89	159,82	240,29	33,49
39,21	156,94	234,84	33,17	157,64	237,93	33,74
35,00	144,83	221,68	34,67	146,83	226,15	35,08
30,00	132,42	207,99	36,33	135,73	213,90	36,54

FONTE: Dados da pesquisa.

4.3 Resultados da determinação da emissão de CO₂ e consumo de combustível.

Realizadas as simulações pelo dinamômetro da força resistiva e obtidos os novos coeficientes foram realizados os ensaios que serviram como parâmetro comparativo entre as duas metodologias de cálculo dos coeficientes. Antes do primeiro

ensaio foi realizado o ciclo de pré-condicionamento do veículo e foram respeitados os prazos de repouso entre provas em ambiente controlado. Para a realização dos ensaios de determinação da emissão de CO₂ e consumo de combustível o veículo foi abastecido com 25 litros de combustível Gasool E22 e foram seguidos os procedimentos descritos na Seção 3.3. A FIG. (4.4) mostra o veículo montado com os equipamentos necessários para a determinação da emissão de CO₂ e do consumo de combustível.

Foram realizadas as três fases do ciclo urbano brasileiro descrito na norma NBR 6601 e utilizada a EQ. (2.26) para determinar o consumo de cada ensaio.

Foram realizadas medições da temperatura dos pneus dianteiros em três momentos do ciclo para comparação com as temperaturas alcançadas com o teste em pista, antes da Fase I, após a Fase II ou antes do intervalo e após a Fase III ou no término do ciclo. Os valores obtidos são exibidos no QUADRO (4.6).



FIGURA 4.4 - Veículo instrumentado com os equipamentos necessários para o ensaio de determinação de CO₂ e do consumo de combustível.

FONTE: Do próprio autor.

Analisando os valores da temperatura dos pneus dianteiros durante o ciclo urbano e considerando a temperatura do rolo do dinamômetro igual à temperatura ambiente do laboratório nota-se que no início do intervalo, após percorrer

aproximadamente 11,80 quilômetros, correspondentes à Fase I e Fase II, o pneu ainda não havia estabilizado a temperatura, já que ao término da Fase III a temperatura aumentou em todas as medições. Em nenhum dos seis ensaios realizados em laboratório a temperatura do pneu ao término do ensaio foi igual à temperatura atingida no teste “Coast Down”, tendo os pneus dianteiros uma temperatura média de 41,10°C.

QUADRO 4.6

Temperatura dos pneus e do ambiente do laboratório.

Método	Nº do Ensaio	Etapa do ensaio	Temperatura		
			Pneu dianteiro direito	Pneu dianteiro esquerdo	Ambiente
Mínimos quadrados	1	Início	24,0	24,0	25,0
		Intervalo	39,0	39,0	25,0
		Final	40,0	40,0	24,5
	2	Início	24,0	25,0	25,0
		Intervalo	38,0	39,0	24,0
		Final	42,0	43,0	24,0
	3	Início	25,0	25,0	23,0
		Intervalo	38,0	36,0	22,5
		Final	40,0	39,0	22,5
Intervalos médios de desaceleração	1	Início	26,0	26,0	24,5
		Intervalo	38,0	38,0	25,0
		Final	41,0	41,0	25,0
	2	Início	25,0	25,0	25,0
		Intervalo	38,0	38,0	24,5
		Final	39,0	40,0	24,0
	3	Início	24,0	24,0	25,0
		Intervalo	38,0	38,0	24,0
		Final	43,0	41,0	24,0

FONTE: Dados da pesquisa.

As temperaturas médias dos pneus atingidas após a realização do teste em pista foram superiores em aproximadamente 11,5 °C às temperaturas atingidas após a realização do ciclo de condução urbano em laboratório. Pelo GRA. (2.3) é evidenciado que o aumento da temperatura dos pneus reduz a força de resistência ao rolamento o que evidencia que as condições simuladas em laboratório podem não simular as condições de interação entre pneu/pavimento de um deslocamento em um país como o Brasil.

4.3.1 Determinação da emissão de CO₂ e consumo de combustível utilizando os coeficientes do dinamômetro determinados a partir do método dos mínimos quadrados.

Os resultados obtidos na realização do ensaio para determinação da emissão de CO₂ e consumo de combustível utilizando os coeficientes f_{0d} , f_{1d} e f_{2d} determinados a partir do método dos mínimos quadrados são mostrados na TAB. (4.14).

Com a realização do ciclo urbano utilizando o combustível Gasool E22, o consumo médio de combustível foi de 13,09 km/l e uma emissão de CO₂ média de 164,6 g/km.

TABELA 4.14

Resultados da emissão de CO₂ e consumo de combustível para os coeficientes obtidos através do método dos mínimos quadrados.

Ciclo	CO ₂ g/km	Consumo de combustível							
		Fase I		Fase II		Fase III		Resultado	
		l/100 km	km/l	l/100 km	km/l	l/100 km	km/L	l/100 km	km/l
Urbano	165,7	8,09	12,36	7,99	12,52	6,83	14,64	7,69	13,00
Urbano	164,6	8,03	12,46	7,91	12,65	6,83	14,65	7,64	13,10
Urbano	163,6	7,99	12,52	7,87	12,70	6,77	14,77	7,59	13,17
Média	164,6	8,04	12,45	7,92	12,62	6,81	14,69	7,64	13,09
Desvio Padrão	1,0	0,05	0,08	0,06	0,09	0,03	0,07	0,05	0,08
Repet. Padrão	0,6	0,03	0,05	0,03	0,05	0,02	0,04	0,03	0,05
Repet. Expandida [k=2]	1,2	0,06	0,10	0,07	0,11	0,04	0,08	0,06	0,10
Percentual [%]	0,71	0,78	0,77	0,85	0,84	0,56	0,57	0,73	0,73

FONTE: Dados da pesquisa.

4.3.2 Determinação da emissão de CO₂ e consumo de combustível utilizando os coeficientes do dinamômetro determinados a partir do método dos intervalos médios de desaceleração.

Os resultados obtidos na realização do ensaio para determinação da emissão de CO₂ e consumo de combustível utilizando os coeficientes f_{0d} , f_{1d} e f_{2d}

determinados a partir do método dos intervalos médios de desaceleração são demonstrados na TAB. (4.15).

TABELA 4.15

Resultados da emissão de CO₂ e consumo de combustível para os coeficientes obtidos através do método dos intervalos médios de desaceleração.

Ciclo	CO ₂ g/km	Consumo de combustível							
		Fase I		Fase II		Fase III		Resultado	
		l/100 km	km/l	l/100 km	km/l	l/100 km	km/L	l/100 km	km/l
Urbano	164,1	7,99	12,51	7,96	12,56	6,70	14,92	7,62	13,12
Urbano	166,2	7,94	12,59	8,07	12,39	6,85	14,60	7,71	12,98
Urbano	166,1	8,07	12,39	8,05	12,43	6,81	14,68	7,71	12,97
Média	165,5	8,00	12,50	8,03	12,46	6,79	14,73	7,68	13,02
Desvio Padrão	1,2	0,06	0,10	0,06	0,09	0,08	0,17	0,05	0,08
Repet. Padrão	0,7	0,04	0,06	0,03	0,05	0,04	0,10	0,03	0,05
Repet. Expandida [k=2]	1,4	0,07	0,12	0,06	0,10	0,09	0,19	0,06	0,10
Percentual [%]	0,83	0,93	0,93	0,79	0,80	1,29	1,30	0,75	0,75

FONTE: Dados da pesquisa.

O consumo médio de combustível foi de 13,02 km/l e uma emissão de CO₂ média de 165,5 g/km utilizando Gasool E22.

4.3.2 Comparação entre os resultados de determinação do consumo de combustível e da emissão de CO₂.

Percebe-se pelo GRA. (4.8) que o resultado médio do consumo de combustível e emissão de CO₂ dos ensaios utilizando os coeficientes obtidos através do método dos mínimos quadrados é maior em 0,54% se comparado com o resultado médio dos ensaios utilizando os coeficientes obtidos através do método dos intervalos médios. Apesar da Fase I e Fase III exigirem as mesmas acelerações e velocidades do veículo, pode-se observar que o consumo de combustível e conseqüentemente a emissão de CO₂ da Fase III são menores, o que pode ser justificado devido aos fluidos presentes no veículo como, óleo do motor, líquido de arrefecimento, fluido de freio, ar do pneu, e

o catalisador, componente responsável por utilizar a energia térmica dos gases de emissões e transforma-los em CO_2 , NO_x e HC, terem atingido uma temperatura ideal de trabalho. Comparando os resultados obtidos de consumo de combustível nos ensaios realizados com o ciclo urbano de condução com os resultados divulgados para o ciclo urbano no site do selo CONPET para os veículos da categoria compacto do ano de 2012, ano do modelo do veículo utilizado, este veículo seria classificado como A no programa de eficiência energética. É importante salientar que o selo CONPET disponibiliza as informações de consumo com E22 e E100 para o ciclo urbano e estrada, mas considera a média harmônica ponderada dos consumos de combustível do ciclo urbano e estrada na proporção de 55% e 45% para realizar a classificação do veículo. Neste ano, não foram divulgadas as informações da emissão de CO_2 .

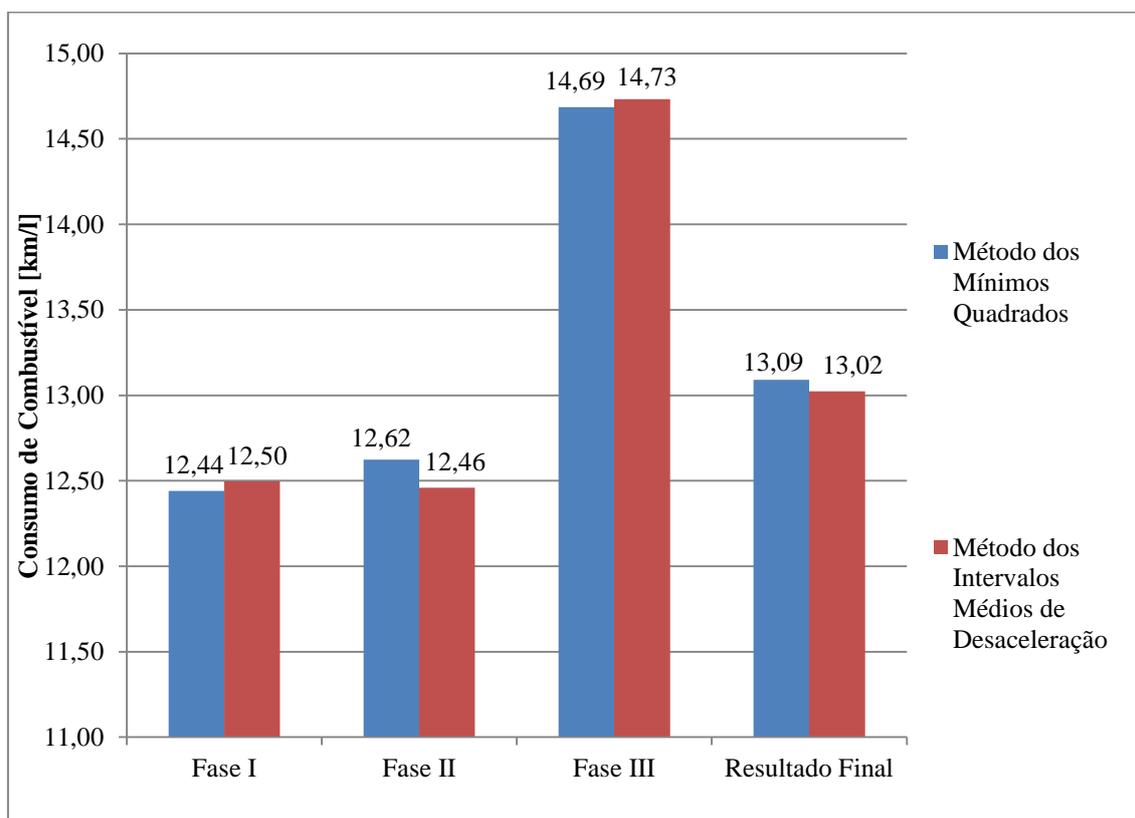


GRÁFICO 4.8 - Comparação das médias obtidas do consumo de combustível em cada fase e do resultado final para cada método de cálculo.

FONTE: Dados da Pesquisa.

Apesar de todos os procedimentos serem executados seguindo o prescrito nas normas técnicas regulamentadoras os resultados de determinação de consumo de

combustível executados utilizando os coeficientes da equação da força resistiva obtida pelos dois métodos não são representativos para utilização urbana, em nenhum dos métodos. É comum a utilização de fatores de correções nos resultados obtidos para aproximar os valores obtidos no laboratório com o consumo de combustível obtido pelo consumidor no deslocamento de perímetro urbano. Segundo Fergusson et. al. (2013) e Mock et. al. (2013) existem alguns fatores com influencia nos resultados obtidos em laboratório que os tornam não representativos das condições de deslocamento no perímetro urbano, como:

- O executante dos testes de emissões e determinação do consumo de combustível é treinado para a realização dos ensaios para que não se tenha variações no pedal do acelerador e que seja aplicada a demanda exata da força propulsora necessária para a realização do ciclo. Os motoristas, de maneira geral, não tem a mesma habilidade.
- O ciclo de condução urbano, de maneira geral, não representa a realidade de um percurso médio realizado por motoristas no deslocamento em perímetro urbano.
- A massa de 136 kg considerada incluindo a massa do executante e equipamentos tanto no teste de desaceleração quanto no procedimento de simulação da força resistiva e ensaio de determinação do consumo de combustível realizados em laboratório é importante para padronizar a execução dos procedimentos utilizando diferentes instrumentos e instrumentações, mas simula a realidade de utilização da maioria dos motoristas.

Além dos fatores citados pelos autores, podem ser citados:

- A norma NBR 6601 recomenda que o ensaio de determinação do consumo de combustível seja realizado com temperatura controlada entre 20 a 30 °C. Apesar de no ano de 2015, segundo o INMET (2015) a pressão média no território brasileiro foi 926,38 mbar e temperatura média de 24,42 °C, tendo a região Norte uma temperatura média de 27,30 °C, região Nordeste de 25,84 °C, região Centro-Oeste de 25,13 °C, a região Sudeste de 23,58 °C e a região Sul de 20,29 °C, dependendo da

época do ano e do local, como pôde ser analisado utilizando os dados ambientais obtidos no ensaio de determinação da resistência total ao deslocamento em pista, a temperatura ambiente pode estar acima da tolerância o que apresenta influência direta na densidade do fluido e conseqüentemente no volume admitido pelo motor para realizar a combustão.

- O dinamômetro de chassi não simula aclives, declives e os rolos que o compõem apresentam bom acabamento superficial. Situação oposta do que é encontrado nas diversas ruas e avenidas do perímetro urbano brasileiro.
- O combustível utilizado nos ensaios de determinação de emissão de CO₂ e consumo de combustível não é o comercializado atualmente no país. Atualmente nos postos é comercializado o Gasool E27, mistura de gasolina pura com 27% de etanol anidro, já a norma designa a utilização do Gasool E22, mistura de gasolina pura com 22% de etanol anidro. Tendo uma maior concentração de etanol, maior será o consumo de combustível e resultará em diferentes concentrações dos gases que compõem as emissões veiculares.

5 CONCLUSÕES

O valor da força resistiva total ao deslocamento de um veículo que contempla o somatório da força de resistência ao rolamento, força de resistência aerodinâmica, força de resistência inercial, força de resistência ao aclone e a força de resistência mecânica, é determinado com a utilização de coeficientes em uma equação em função da velocidade. A determinação desses coeficientes foi realizada a partir dos tempos de desaceleração obtidos com o teste de determinação da força resistiva total por desaceleração livre, ou “Coast Down”, utilizando dois métodos de cálculo distintos, o primeiro através do método dos mínimos quadrados e o segundo o método considerando dois intervalos médios da desaceleração. Apesar dos resultados obtidos neste ensaio serem os tempos das desacelerações, todos os parâmetros com influência nas componentes da força resistiva total (velocidade do vento, direção do vento, temperatura e pressão ambiente da pista, temperaturas dos pneus, entre outros) interferem direta e/ou indiretamente nos resultados obtidos.

Nas desacelerações, o monitoramento das condições ambientais é importante para realizar as correções da temperatura e pressão para as condições padrões de norma e análise da influência da direção e velocidade do vento nas desacelerações. O programa da estação meteorológica portátil foi escrito para uma aquisição de parâmetros mínimos, máximos e médios para intervalos de tempo de 60 segundos, tempo suficiente para atendimento dos requisitos solicitados nas normas regulamentadoras para validação do ensaio. Porém, observou-se que este intervalo de tempo não foi o ideal para o cálculo da componente da força aerodinâmica gerada pelo escoamento do ar na superfície externa do veículo. O ideal para essa análise seria a aquisição dos parâmetros ambientais em intervalos mínimos, permitindo assim, verificar as variações instantâneas de todos os parâmetros, principalmente os relacionados ao vento.

Analisando as temperaturas dos pneus medidas no início e ao término do ensaio “Coast Down” e comparando com as temperaturas obtidas no ensaio do ciclo urbano em laboratório pode-se concluir que com o aumento da temperatura houve uma diminuição da resistência ao rolamento, alterando as pressões internas, o formato do

pneu, o módulo elástico da borracha e dos outros compostos que conseqüentemente alteram a zona de contato da banda de rodagem.

As desacelerações apesar de serem realizadas em seqüência e utilizando o mesmo trecho de pista, resultaram em diferenças nos tempos médios obtidos nos dois sentidos. Além das diferenças e interferências ambientais como a velocidade e direção do vento, a temperatura ambiente e da pista, pode-se concluir que a pista não é 100% plana e como minimização deste erro os coeficientes utilizados foram obtidos com a média dos valores nos dois sentidos.

A norma brasileira NBR 10312 permite a utilização dos coeficientes obtidos a partir dos dois métodos para determinar a força resistiva e realizar a simulação em dinamômetro. Porém, nota-se que há uma diferença nos valores obtidos dos coeficientes f_0 e f_2 nos dois métodos de cálculo, o que conseqüentemente influencia na determinação das componentes da força resistiva total, na simulação das forças resistivas em laboratório e na determinação do consumo de combustível e emissão de CO₂. As montadoras podem utilizar os coeficientes que lhes for favoráveis para a simulação. Na análise deste trabalho, como foi realizado o ciclo urbano prescrito na norma NBR 6601, que apresenta uma velocidade média de 39,21 km/h, a utilização dos coeficientes determinados pelo método dos mínimos quadrados seria mais vantajosa, pois, a força a ser simulada durante os ensaios seria menor o que resultaria em menor emissão de CO₂ e menor consumo de combustível. Caso o ensaio considerado para realização apresentasse uma velocidade média superior a 49 km/h, que é o caso do ciclo estrada, normatizado pela NBR 7024, que segundo Barlow et. al (2009) apresenta velocidade média de 79,92 km/h os coeficientes obtidos pelo método dos intervalos médios de desaceleração seriam mais vantajosos para se obter menor emissão de CO₂ e menor consumo de combustível. Além de serem utilizados no procedimento de simulação dos ensaios em laboratório, os coeficientes são utilizados para determinação da influência de cada força resistiva na força resistiva total. Com essa informação é possível direcionar a atuação da equipe de engenharia para melhorias no projeto do veículo, e comparando os resultados obtidos a partir dos dois métodos, nota-se que cada força tem uma influência diferente.

Foi considerado o valor recomendado por norma de 3% de acréscimo na massa real de ensaio do veículo, resultando na massa efetiva, como forma de compensar as inércias de rotação dos componentes do veículo, o que conseqüentemente pelas

grandezas representadas por cada coeficiente, resultou em uma força de resistência inercial de 3% do valor da força de resistência ao rolamento, porém, segundo Leal et. al. (2012) em primeira marcha a força de resistência inercial pode chegar a 50% da massa total do veículo, diminuindo para aproximadamente 5% na última marcha. O ideal seria calcular o coeficiente de inércia para cada veículo e utilizar os valores das desacelerações obtidos pelo teste “Coast Down” para o cálculo dessa força.

O veículo teve o ângulo de câmbor ajustado para $-0,15^\circ$ e as rodas alinhadas e balanceadas antes da realização do ensaio de determinação da força resistiva ao deslocamento por desaceleração e não foram reajustados e conferidos após a realização da simulação da força resistiva e dos ensaios de determinação da emissão de CO_2 e consumo de combustível em laboratório. Para se deslocar até o local de realização do teste “Coast Down” foram percorridos aproximadamente 900 quilômetros. Estes parâmetros foram considerados constantes durante os três procedimentos práticos dessa produção.

O coeficiente de resistência ao rolamento determinado a partir dos coeficientes da equação da força resistiva total resulta em um valor estabilizado, independente da velocidade. Nas equações apresentadas pelas referências bibliográficas, esse valor depende da velocidade do veículo o que resulta na força resistiva ao rolamento variável em função da velocidade. Porém, como a velocidade média do ciclo de condução urbano, 39,21 km/h, é considerada baixa, o aumento da força de resistência ao rolamento é desprezível.

Nessa análise, as componentes com maior influência na força de resistência total ao deslocamento do veículo são a força aerodinâmica e a força de resistência ao rolamento. Almeida et. al. (2010) em seu trabalho cita que as demais forças resistivas para a velocidade média de 40 km/h representam 8% do valor total, neste trabalho, foi encontrado um valor médio de 11,01% para os dois métodos. Até a velocidade de 63 km para os coeficientes encontrados pelo método dos mínimos quadrados e 65 km/h para os coeficientes encontrados pelo método dos intervalos médios de desaceleração, a força com maior influência na resistência ao deslocamento é a força de resistência ao rolamento, após essas velocidades, a força aerodinâmica passa a ser a maior componente.

A força de resistência aerodinâmica depende diretamente do coeficiente f_2 . Para uma mesma área frontal, um mesmo coeficiente de arrasto e mesma densidade do

ar considerada, quanto maior o valor do coeficiente f_2 maior será o valor dessa força resistiva.

No procedimento de simulação, pode-se constatar que com os coeficientes calculados a partir do teste de determinação da força resistiva total ao deslocamento por desaceleração livre, f_0 e f_2 inseridos no dinamômetro para realizar o procedimento de simulação da força resistiva pelo dinamômetro, o coeficiente obtido dependente da velocidade de segunda ordem, f_{2d} , sofreu acréscimo de 0,001 para o método dos mínimos quadrados e nenhuma alteração para o método dos intervalos médios de desaceleração. Como evidenciado pela EQ. 2.14, estes coeficientes representam a força de resistência aerodinâmica. Já o coeficiente f_{0d} , teve redução média de 60,65% comparado com f_0 . Essa redução se deve à consideração e compensação pelo dinamômetro das inércias rotativas dos seus elementos construtivos.

Nos ensaios que utilizam o dinamômetro como pavimento e simulador das forças resistivas, o veículo é posicionado com as rodas propulsoras sob o rolo e preso por cintas para evitar o deslocamento lateral durante as provas. Todavia, a maioria dos veículos leves comercializados no Brasil apresentam tração em apenas um dos eixos e os conjuntos rodas/pneus do outro eixo ficam apoiados no chão, ou seja, diminui-se a inércia rotativa dos componentes ligados ao eixo não motriz e a resistência ao rolamento de dois pneus. Apesar de terem menor impacto são variáveis que possuem influencia nos resultados e as suas descon siderações aumentam a diferença entre os resultados obtidos em laboratório dos resultados obtidos em pista. Outro fato importante a ser destacado é a transferência de carga durante as acelerações e desacelerações. Durante a simulação das forças resistivas, a desaceleração é gradual e a transferência de carga pode ser considerada nula, porém no ciclo de condução urbano e com o veículo de tração dianteira, com as velocidades a serem impostas pelo executante há exigências de acelerações bruscas o que acarreta na transferência de carga para o eixo apoiado no piso do laboratório diminuindo a carga nos pneus do eixo de tração, ou eixo dianteiro, o que conseqüentemente diminui a força de resistência ao rolamento exigida e a aceleração necessária.

Foi constatada a importância da realização do ensaio de determinação da força de resistência total ao deslocamento por desaceleração livre para toda versão de um modelo de veículo, uma vez que componentes construtivos, internos e externos com massas e formatos diferentes podem influenciar nas forças resistivas e

consequentemente no resultado a ser obtido, portanto, para divulgação dos resultados seria necessário colocar as informações dos opcionais do modelo do veículo utilizado para o ensaio.

Apesar de todo o procedimento ser realizado conforme prescrito em norma constata-se que os valores de consumo de combustível obtidos para este veículo não representam a realidade de utilização. Existirá sempre uma diferença nos valores de consumo determinados em laboratório e os valores obtidos pelo consumidor na sua utilização diária, já que para ensaios em laboratórios o veículo é preparado, têm-se vários parâmetros ambientais controlados e as condições de contato pavimento/pneu não representam a realidade. As condições do veículo utilizado nos testes, muita das vezes não se aproxima das condições dos veículos leves utilizados pelos usuários. Poucos proprietários realizam as manutenções necessárias nos períodos corretos. Portanto, é comum as montadoras utilizarem fatores de correção nos valores obtidos de consumo de combustível em laboratório com o intuito de aproximar os resultados e serem divulgados nos programas de eficiência energética, e mesmo assim, segundo Kadjik (2012) a diferença entre os valores obtidos em laboratório e na utilização diária pelos consumidores nos últimos anos tem aumentado. Apesar de utilizarem o fator de correção no consumo de combustível, este não é considerado nas emissões dos gases de escapamento.

Portanto, conclui-se que o objetivo geral e os objetivos específicos para essa dissertação foram alcançados.

5.1 Sugestões de trabalhos futuros

Como sugestões de trabalhos futuros, podem ser listados:

- Calcular a resistência inercial do veículo para diferentes velocidades de deslocamento considerando todos os componentes em movimentos rotacionais e determinar a influência na força de resistência total ao deslocamento.
- Determinar a influencia da diferença da área de contato entre pneu/pista e pneu/dinamômetro e as consequências na força de resistência ao rolamento,

força de resistência total ao deslocamento, determinação das emissões veiculares e do consumo de combustível.

- Determinar a força de resistência aerodinâmica lateral e de sustentação durante o teste de determinação da resistência total ao deslocamento, ou “Coast Down” medindo os parâmetros ambientais em intervalos de tempo de um segundo de maneira contínua em diferentes posições da pista de rolamento.
- Para veículos com tração em apenas um dos eixos, analisar as transferências de cargas longitudinais devido a acelerações e frenagens durante o ciclo de condução urbano para o eixo não apoiado no dinamômetro, ou seja, apoiado no piso do laboratório, e determinar o quanto pode influenciar na determinação das emissões veiculares e consumo de combustível.
- Elaborar uma nova metodologia de cálculo das forças resistivas que são considerados todas as variáveis no procedimento de cálculo com o intuito de aumentar a força resistiva calculada e conseqüentemente a força resistiva a ser simulada pelo dinamômetro.
- Elaborar um ciclo de condução com acelerações e desacelerações a ser realizado em pista de rolamento reta e plana e posteriormente em laboratório e determinar o consumo de combustível nas duas fases para determinar a influencia utilizando equipamentos portáteis e simulá-lo em laboratório
- Realizar leituras das rotações e velocidades de centrais eletrônicas de diferentes veículos em diferentes cidades brasileiras em deslocamentos diários em perímetro urbano para elaborar um novo ciclo de condução urbano mais representativo.
- Relacionar as diferenças nos valores dos coeficientes da equação da força resistiva e conseqüentemente a força de resistência total ao deslocamento em cada velocidade com as emissões dos principais gases de escapamento para determinar a influencia da escolha do método de cálculo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADACHI, Masasyuki; NAKAMURA, Hiroshi. 2014. **Engine emissions measurement Handbook** – HORIBA Automotive Test Systems. SAE International. 2014.

ALMEIDA, Thiago; SOARES, Sandro; REIS, Mara Nilza Estanislau. **Fracionamento de Coast Down em Veículos Automotores**. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM 2010. ABCM: Paraíba. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6601**: Veículos rodoviários automotores leves – Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7024**: Veículos rodoviários automotores leves – Medição do consumo de combustível – Método Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10312**: Veículos rodoviários automotores leves – Determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração livre em pista de rolamento e simulação em dinamômetro. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BARLOW, T. J; LATHAM S.; MCCRAE I. S.; BOULTER P. G. **A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions**, 3rd ed., TRL Limited. Published Project Report PPR354. Junho. 2009.

BRUNETTI, Franco. 2012. **Motores de Combustão Interna**. 1. São Paulo : Blucher, 2012. P. 486. Vol. 1

—. 2012. **Motores de Combustão Interna**. 1. São Paulo : Blucher, 2012. p. 418. Vol. 2.

CANALE, Antonio Carlos. 1989. **Automobilística: dinamica, desempenho**. São Paulo : Erica, 1989.

CORRADINI, Fernando. 2005. **Efeito da Temperatura do Líquido de Arrefecimento na Produção de Emissões Poluentes de Motor de Ignição por Faísca**. 2005. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005.

DAS SIDHARTH, Bharat Mohan Redrouthu. 2014. **Tyre modelling for rolling resistance**. Vehicle dynamics group. Chalmers University of Technology. Goteborg. 2014.

Dicionário Online da Língua Portuguesa. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php?lingua=portugues-portugues&palavra=dinam%F4metro>. Acesso em: 10/10/2015.

EMTAGE, Andrew Laurence. 1983. **The Vehicle Coast Down Test**. [ed.] Loughborough University of Technology. Dissertação (Mestrado). 1983.

FERGUNSSON, Malcolm; RIEMERSMA, Iddo; MOCK, Peter; KADJIK, Gerrit; **Mind the Gap**. Transport and Environment. 2013. Bélgica

FOX, Robert W.; PRITCHARD, Philip J.; MCDONALD, Alan T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, c2010. xiv, 710.

GENTA, Giancarlo. 2006. **Motor Vehicle Dynamics – Modeling and simulation**. Dipartimento di Meccanica Politecnico di Torino, Italia. World Scientific.2006. p. 537

GILLESPIE, Thomas D. 1992. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Warrendale: SAE, c1992 495p. Warrendale : Society of Automotive Engineers, 1992. p. 495.

HUCHO, Wolf Heinrich. 1998. **Aerodynamics of road vehicles: from fluid mechanics to vehicle engineering**. 4. Warrendale : Society of Automotive Engineers, 1998. p. 918.

IBAMA. **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores - Proconve/Promot**. 3. Ed. Brasília: Ibama, 2011. p. 584 (Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes – Gestão Ambiental, no 3).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 18164** Passenger car, truck, bus and motorcycle tyres – Methods of measuring Rolling Resistance. India. New Delli. 2010.

Itaro Pneus - Artigos. <http://faq.itaro.com.br/hc/pt-br/articles/202470643-O-que-significam-as-inscri%C3%A7%C3%B5es-na-lateral-do-meu-pneu->. Acesso em Setembro de 2015.

JAZAR, Reza N. 2008. **Vehicle dynamics: theory and applications**. New York. Springer Science. p. 982. 2008.

KADJIK, Gerrit; LIGTERINK Norbert. 2012. **Road load determination of passengers Cars**. TNO – Behavioural and society sciences. Netherlands. Report. 2012.

LEAL, Longuinho da C. M.; ROSA, Edison da; NICOLLAZZI, Lauro Cesar. 2012. **Uma introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas**. Publicação interna do GRANTE – Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. Florianópolis. 2012.

MOCK, Peter; GERMAN John; BANDLVADEKAR Anup; RIEMERSMA Iddo; LIGTERINK Norbert; LAMBRECHT, Udo. 2013. **From laboratory to road – A comparison of official and real world fuel consumption and CO₂ values for cars in Europe and the United States**. International Council on Clean Transportation (ICCT). Washington DC. 2013.

PÁSCOA, José C., BRÓJO, Francisco P., SANTOS, Fernando C. e FAEL, Paulo O. 2012. **An innovative experimental on road testing method and its demonstration on a prototype vehicle**. Journal of Mechanical Science and Technology, Volume 26, Issue 6, pp 1663-1670. Korean Society of Mechanical Engineers. 2012.

PREDA, Ion, COVACIU, Dinu e GHEORGHE, Ciolan. 2010. **Coast Down Test - Theoretical And Experimental Approach**. Transilvania University of Brasov. Romania : Conat, 2010.

PLINT, M. A; MARTYR, Anthony. **Engine testing: the design, building, modification and use of powertrain test facilities**. 4th ed. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, c2012. xxvii, 571 p.

PLINT, M. A; MARTYR, Anthony. **Engine testing: theory and practice**. Oxford: Butterworth-Heinemann, c1995. xiv, 295p.

PULKRABEK, Willard W. **Engineering Fundamentals of the internal Combustion Engine**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2004. p. 425.

SAE International. **SAE J670: Surface Vehicle Recommended Practice – Vehicle Dynamics Terminology**. 7th ed. Janeiro 2008.

SEWARD, Derek. **Race car design**, 2014. Palgrave Macmilan. p. 288.

SALES, Luis Carlos Monteiro. 2010. **Sistema de Partida a Frio para Motores Flex Fuel com Aquecimento do Ar de Admissão e do Etanol Injetado**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. PUC Minas. Belo Horizonte. 2010.

SILVA, Fabrício Daniel dos Santos; SALVADOR, de Araújo. **Análise das anomalias das temperaturas no ano de 2015**. Coordenação-Geral de Desenvolvimento e Pesquisa, CGDP/INMET. Janeiro. 2016. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=nota_tecnica-01-2016. Acesso em: 25/04/2016.

TIMPONI, Nelson Sardinha. 2006. **Influência da Altura do Solo em Aerodinâmica Veicular**. Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC. Betim : s.n., 2006.

THOMPSON, Gleen. 1989. **The Vehicle Road Load Problem - An Approach by Non-Linear Modeling**. Protection Agency, United States Environmental. 1989.

UBYSZ, Alexander. **Problems of Rotational Mass in Passenger Vehicles**. Silesian Technical University, Faculty of Transport, Department of Vehicle Construction. Poland. Transport Problems. Volume 5. Issue 1. 2010.

Vector Drawings. Disponível em http://www.the-blueprints.com/vectordrawings/show/2315/volkswagen_fox/. Acesso em: 07/11/2015.

WEBSTER, John G. **The measurement instrumentation and sensors handbook**. CRC Press LLC, 2000. 2588p.

ANEXO A

A.1 Tabela de Inércia Equivalente da Norma NBR 6601

Massa do veículo para ensaio					Inércia Equivalente		
[kg]			[lb]			[kg]	[lb]
Até		482	Até		1062	454	1000
483	a	538	1063	A	1187	510	1125
539	a	595	1188	A	1312	567	1250
596	a	652	1313	A	1437	624	1375
653	a	709	1438	A	1562	680	1500
710	a	765	1563	A	1687	737	1625
766	a	822	1688	A	1812	794	1750
823	a	879	1813	A	1937	850	1875
880	a	935	1938	A	2062	907	2000
936	a	992	2063	A	2187	964	2125
993	a	1049	2188	A	2312	1021	2250
1050	a	1105	2313	A	2437	1077	2375
1106	a	1162	2438	A	2562	1134	2500
1163	a	1219	2563	a	2687	1191	2625
1220	a	1276	2688	a	2812	1247	2750
1277	a	1332	2813	a	2937	1304	2875
1333	a	1389	2938	a	3062	1361	3000
1390	a	1446	3063	a	3187	1417	3125
1447	a	1502	3188	a	3312	1474	3250
1503	a	1559	3313	a	3437	1531	3375
1560	a	1616	3438	a	3562	1588	3500
1617	a	1672	3563	a	3687	1644	3625
1673	a	1729	3688	a	3812	1701	3750
1730	a	1786	3813	a	3937	1758	3875
1787	a	1871	3938	a	4125	1814	4000
1872	a	1984	4126	a	4375	1928	4250
1985	a	2098	4376	a	4625	2041	4500
2099	a	2211	4626	a	4875	2155	4750
2212	a	2325	4876	a	5125	2268	5000
2326	a	2438	5126	a	5375	2381	5250
2439	a	2608	5376	a	5750	2495	5500
Acima	de	2608	Acima	de	5750	2495	5500

FONTE: NBR 6601, 2012, Anexo A.

APÊNDICE A

A.1 Programa da Estação meteorológica

```

; PROGRAMA DA ESTAÇÃO METEOROLOGICA
;{CR10}
;XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
*Table 1 Program
  01: 5      Execution Interval (seconds)
;*****
;ENTRADA DE DADOS - LEITURA DOS SENSORES
;*****
;=====
;Velocidade e direcao do vento - 05103 - YOUNG
;=====
;Ligacoes
;-----
; COR      Funcao      Simbolo/Canal  Parametro
; vermelho  Pulse        P 1           Sinal da Velocidade do Vento
; branco   Excitacion    E 1           Excitacao da Tensao da Direcao do Vento
; verde    Azimuth Signal    SE 6 (L)     Sinal da Direcao do Vento
; preto    Reference     AG 8         Referencia
; claro    Protecao      G            Terra
; azul     Reference vel  G            Terra
;-----
;Instrucao para leitura da velocidade do vento
;-----
1: Pulse (P3)
  1: 1      Reprs
  2: 1      Pulse Channel 1
  3: 21     Low Level AC, Output Hz
  4: 3      Loc [ VELVEN40M ]

```

5: .098 Mult

6: 0.0 Offset

;Instrucao para leitura da direcao do vento

2: Excite-Delay (SE) (P4) ;

1: 1 Reps

2: 25 ã 2500 mV 60 Hz Rejection Range

3: 6 SE Channel

4: 1 Excite all reps w/Exchan 1

5: 20 Delay (units 0.01 sec)

6: 2500 mV Excitation

7: 4 Loc [DIRVEN40M]

8: .142 Mult

9: 0 Offset

=====

;Temperatura e umidade do ar - HMP45AC

=====

;Ligacoes

; COR Funcao Simbolo/Canal Parametro

; azul Single Ended I SE 1 (H) Umidade Relativa

; amarelo Single Ended I SE 2 (L) Temperatura

; vermelho Alimentacao 12V Energia

; branco Analog Ground AG 1

; claro Ground G Protecao

; preto Analog Ground AG 2

;Instrucao para leitura da temperatura e umidade

3: Do (P86)

1: 41 Set Port 1 High

; Pausa durante 150 mSec antes das medições para estabilização da probe

4: Excitation with Delay (P22)

1: 1 Ex Channel
 2: 0 Delay W/Ex (0.01 sec units)
 3: 15 Delay After Ex (0.01 sec units)
 4: 0 mV Excitation

;Instrucao para leitura da temperatura

5: Volt (SE) (P1)

1: 1 Reps
 2: 5 2500 mV Slow Range
 3: 02 SE Channel
 4: 5 Loc [TEMPAR10M]
 5: .1 Mult
 6: -40 Offset

;Instrucao para leitura da umidade relativa

6: Volt (SE) (P1)

1: 1 Reps
 2: 5 2500 mV Slow Range
 3: 01 SE Channel
 4: 6 Loc [UMIREL10M]
 5: 0.1 Mult
 6: 0.0 Offset

7: Do (P86)

1: 51 Set Port 1 Low

=====

;Pressao atmosferica - Bar - CS105 - PTB101B

```

=====
;Ligacoes
;-----
; COR      Funcao      Simbolo/Canal  Parametro
; azul     Single Ended  SE 5          Pressao
; amarelo  Analog Ground    AG 4
; preto    Ground          G            Ground
; verde    Control Port   C 8          Ext trigger
; vermelho Alimentacao     12V          12 V
; claro    Protecao     G            Ground
;-----
;Excita a porta de controle C7 - Utiliza a excitacao C7 inves da E1
;-----
8: Do (P86)
1: 48      Set Port 8 High
;-----
9: Excitation with Delay (P22)
1: 2       Ex Channel
2: 0       Delay W/Ex (0.01 sec units)
3: 100     Delay After Ex (0.01 sec units)
4: 0       mV Excitation
;
10: Volt (SE) (P1)
1: 1       Repts
2: 25      2500 mV 60 Hz Rejection Range
3: 5       SE Channel
4: 10      Loc [ P_mBAR ]
5: .240    Multiplier
6: 500     Offset
;-----
;Finaliza a excitacao da porta de controle C7
11: Do (P86)
1: 58      Set Port 8 Low

```

```

;=====
;Bateria interna - DATALOGGER
;=====

12: Batt Voltage (P10)
1: 17    Loc [ BATVOLT  ]

;*****
;SAIDA DE DADOS - ID = 101
;*****
;-----
;Define o intervalo de armazenamento
;-----

13: If time is (P92)
1: 0000  Minutes (Seconds --) into a
2: 1    Interval (same units as above)
3: 10   Set Output Flag High
;-----
;Direciona a saida para o Storage Module
;-----

14: Serial Out (P96)
1: 52   Printer Comma/9600 Baud
;-----
;Define o identificador do periodo de saida
;-----

15: Set Active Storage Area (P80)^15102
1: 1    Final Storage Area 1
2: 101  Array ID or Loc [ _____ ]
;-----
;Armazena a horario da saida de dados
;-----

16: Real Time (P77)^5575
1: 1110  Year,Day,Hour/Minute

```

 ;Armazena a media da Umidade relativa

17: Average (P71)^8097

1: 1 Reps

2: 6 Loc [UMIREL10M]

;Armazena a media da Temperatura

18: Average (P71)^20144

1: 1 Reps

2: 5 Loc [TEMPAR10M]

;Armazena a velocidade, direcao e desvio padrao do vento

19: Wind Vector (P69)^28908

1: 1 Reps

2: 0000 Samples per Sub-Interval

3: 00 Sensor/Output Option

4: 3 Wind Speed/East Loc [VELVEN40M]

5: 4 Wind Direction/North Loc [DIRVEN40M]

;Armazena a media da pressao barometrica

;Aumenta a resolucao para obter duas casas decimais

20: Resolution (P78)

1: 01 High Resolution

21: Average (P71)^27730

1: 1 Reps

2: 10 Loc [P_mBAR]

;Retorna para a resolucao padrao (baixa resolucao)

;-----

22: Resolution (P78)

1: 00 Low Resolution

;*****

;SAIDA DE DADOS - ID = 201 - Dados horarios

;*****

;-----

;Define o intervalo de armazenamento

;-----

23: If time is (P92)

1: 0000 Minutes (Seconds --) into a

2: 1 Interval (same units as above)

3: 10 Set Output Flag High

;-----

;Direciona a saida para o Storage Module

;-----

24: Serial Out (P96)

1: 52 Printer Comma/9600 Baud

;-----

;Define o identificador do periodo de saida

;-----

25: Set Active Storage Area (P80)^12185

1: 1 Final Storage Area 1

2: 201 Array ID or Loc [_____]

;-----

;Armazena o horario da saida de impressao

;-----

26: Real Time (P77)^13704

1: 1220 Year,Day,Hour/Minute (midnight = 2400)

;-----

;Armazena a média da Umidade Relativa

27: Average (P71)^8913

1: 1 Reps

2: 6 Loc [UMIREL10M]

;Armazena o maximo da Umidade Relativa c/ o respectivo horario

28: Maximize (P73)^2450

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 6 Loc [UMIREL10M]

;Armazena o minimo da Umidade Relativa c/ o respectivo horario

29: Minimize (P74)^24237

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 6 Loc [UMIREL10M]

;Armazena a média da Temperatura

30: Average (P71)^14119

1: 1 Reps

2: 5 Loc [TEMPAR10M]

;Armazena o maximo da Temperatura c/ o respectivo horario

31: Maximize (P73)^13291

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 5 Loc [TEMPAR10M]

;Armazena o minimo da Temperatura c/ o respectivo horario

32: Minimize (P74)^27746

- 1: 1 Reps
- 2: 10 Value with Hr-Min
- 3: 5 Loc [TEMPAR10M]

;Armazena a velocidade, direcao e desvio padrao do vento

33: Wind Vector (P69)^27693

- 1: 1 Reps
- 2: 0000 Samples per Sub-Interval
- 3: 00 Sensor/Output Option
- 4: 3 Wind Speed/East Loc [VELVEN40M]
- 5: 4 Wind Direction/North Loc [DIRVEN40M]

;Armazena o maximo da Velocidade c/ o respectivo horario

34: Maximize (P73)^16858

- 1: 1 Reps
- 2: 10 Value with Hr-Min
- 3: 3 Loc [VELVEN40M]

;Aumenta a resolucao para o processamento da pressao

35: Resolution (P78)

- 1: 01 High Resolution

;Armazena a média da Pressao atmosferica

36: Average (P71)^9973

- 1: 1 Reps
- 2: 10 Loc [P_mBAR]

;Armazena o maximo da Pressao atmosferica c/ o respectivo horario

37: Maximize (P73)^27875

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 10 Loc [P_mBAR]

;Armazena o minimo da Pressao atmosferica c/ o respectivo horario

38: Minimize (P74)^28610

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 10 Loc [P_mBAR]

;Retorna a resolucao para o processamento da pressao

39: Resolution (P78)

1: 00 Low Resolution

;Armazena o minimo da bateria interna do datalogger

40: Minimize (P74)^4795

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 17 Loc [BATVOLT]

XX

*Table 2 Program

02: 0.0000 Execution Interval (seconds)

=====

XX

*Table 3 Subroutines

1: Beginning of Subroutine (P85)

1: 01 Subroutine 1
2: End (P95)
End Program

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the influence of the methods of calculating the total resistive force against the movement of a light vehicle in determining the fuel consumption and CO₂ emission in the urban cycle. To comply with national and international law, large parts of recent investments of automotive industry are to improve the energy efficiency of vehicles, in general, reducing fuel consumption and emissions of exhaust gases. To determinate the fuel consumption and quantify the concentration of exhaust gases simulating the vehicle road load, laboratory tests are realized using a chassis dynamometer. However, before the laboratory vehicle test for this purpose it is necessary to carry out a test where the vehicle decelerates freely, know as Coast Down for calculating coefficients of an equation of the total resistive force that serve as input parameters for the chassis dynamometer perform the simulation, and enables to quantify the influence of each component of the total resistive force against the movement depending on the speed of the vehicle. The technical standards provides two methods of calculation for determining the coefficients, the first uses the method of least squares and using the second using the method that considers two average deceleration intervals although results in different values for the coefficients, which influences the value of the road load force, the values of the components of road load force, in the simulation of the road load force in the laboratory and thus in determination of fuel consumption and CO₂ emissions in laboratory, an analysis is required to determine the influence of the chosen method of calculation in the results. As results, 5,51% differences were obtained in the value of the coefficient f_0 and 9,52% in the value of coefficient f_2 , resulting in a difference of 0,54% in the fuel consumption and emission of CO₂ in the urban cycle. At the end of the research was concluded that the calculation methods for determine the coefficients have influence in determining the resistive forces and consequently the test for determining consumption and vehicle emissions, which enables the automaker choose the method that are favorably without infringing the regulatory standards of the tests.

Key words: “Coast Down”, road load, road load simulation on chassis dynamometer, coefficients of an equation of the total resistive force, consumption determination, CO₂ emission.