

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE ECONOMIA E ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM SUSTENTABILIDADE

ALEXANDRE OLMOS

UMA CONTRIBUIÇÃO AO DEBATE SOBRE A SUSTENTABILIDADE
DO BIOCOMBUSTÍVEL ETANOL HIDRATADO APLICADO A FROTA
NACIONAL DE VEÍCULOS AUTOMOTORES LEVES “Flex”.

CAMPINAS

2019

ALEXANDRE OLMOS

UMA CONTRIBUIÇÃO AO DEBATE SOBRE A SUSTENTABILIDADE
DO BIOCOMBUSTÍVEL ETANOL HIDRATADO APLICADO A FROTA
NACIONAL DE VEÍCULOS AUTOMOTORES LEVES “Flex”.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade da Pontifícia Universidade Católica de Campinas para a obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Ricardo Rosa Georges.

PUC-CAMPINAS

2019

Ficha catalográfica elaborada por Vanessa da Silveira CRB 8/8423
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

t620.91 Olmos, Alexandre.
O51c Uma contribuição ao debate sobre a sustentabilidade do
biocombustível etanol hidratado aplicado a frota nacional de
veículos automotores leves “flex” / Alexandre Olmos. - Campinas:
PUC-Campinas, 2019.
154f.

Orientador: Marcos Ricardo Rosa Georges.

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de
Campinas, Centro de Economia e Administração, Programa de Pós-
Graduação em Sustentabilidade.

1. Biocombustíveis. 2. Ar - Poluição. 3. Álcool. 4. Sustentabilidade. I.
Georges, Marcos Ricardo Rosa. II. Pontifícia Universidade Católica de
Campinas. Centro de Economia e Administração. Programa de Pós-
Graduação em Sustentabilidade. III. Título.

CDU – t620.91

ALEXANDRE OLMOS


UMA CONTRIBUIÇÃO AO DEBATE SOBRE A SUSTENTABILIDADE DO
BIOCOMBUSTÍVEL ETANOL HIDRATADO APLICADO A FROTA NACIONAL DE
VEÍCULOS AUTOMOTORES LEVES "FLEX"

Este exemplar corresponde à redação
final da Dissertação de Mestrado em
Sustentabilidade da PUC-Campinas, e
aprovada pela Banca Examinadora.

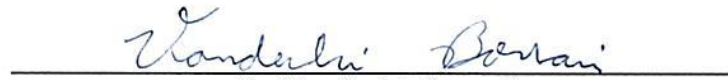
APROVADA: 30 de janeiro de 2019.



Prof. Dr. Marcos Ricardo Rosa Georges
(Orientador - PUC-CAMPINAS)



Prof. Dr. Antonio Carlos Demanboro
(PUC-CAMPINAS)



Dr. Vanderlei Borsari
(CETESB)

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado a todos que sofreram e estão sofrendo as consequências da falta do pleno desenvolvimento sustentável em nosso planeta. Aos ecossistemas e a todos os seres vivos que ainda habitam a Terra. Dedico ainda a todos que incansavelmente trabalharam e trabalham em prol de um mundo mais justo e menos desigual.

AGRADECIMENTOS

Sou muito agradecido às todas as pessoas que atenciosamente colaboraram com o projeto desta pesquisa. O Professor Marcos Ricardo Rosa Georges, meu orientador e guia, que me manteve seguro nos muitos momentos de decisões. Os membros da banca, Professor Antonio Carlos Demanboro e Professor Vanderlei Borsari que proveram conselhos importantíssimos. Muito agradeço à extraordinária equipe do Laboratório de Emissões da General Motors do Brasil, que incansavelmente se fez presente em praticamente todos os momentos, assim como aos colegas Claudio e Ricardo. Da mesma forma aos Professores Celeste, Sueli, Samuel, Demanboro e André das disciplinas que cursei. Devo a todos eles muito do que está nesta dissertação, além guardar profundo respeito e admiração. Agradeço ainda à querida Grazielle pela paciência em me atender esclarecendo tantas dúvidas, e aos colegas de classe que proporcionaram valiosos e intermináveis debates. Também gostaria de agradecer à PUC-Campinas pela concessão da bolsa de estudo parcial, que possibilitou a concretização deste sonho da minha vida. Por fim sinto imensa gratidão a minha esposa e aos meus filhos, que também são meus professores, bem como a todos os estudiosos e pesquisadores que influenciaram direta e indiretamente este trabalho, além de todos que eu estou tendo a oportunidade de conviver durante a jornada desta vida.

EPÍGRAFE

“Age de tal modo que os efeitos da tua ação sejam compatíveis com a permanência de uma vida autenticamente humana sobre a Terra.”

Hans Jonas

RESUMO

Introdução – O recém aprovado programa ROTA 2030 incentivar as empresas fabricantes a melhorarem a eficiência energética do etanol hidratado nos motores “Flex” dos veículos, assim como ocorreu no programa INOVAR-AUTO. As regras do programa apontam que serão oferecidas reduções de alíquotas de IPI a partir da relação de autonomia entre etanol hidratado e gasolina igual ou superior a 0,693, sem prejudicar a eficiência energética da gasolina. Os benefícios serão maiores quanto maior for esta relação. Estudos de consumo específico de combustíveis em um motor “Flex” de produção, realizados em dinamômetro de motores, demonstram a existência de regiões de trabalho do motor cujas relações de autonomia Etanol Hidratado/Gasolina chegam a 0,77. Entretanto, estas regiões de trabalho não são atingidas quando em veículo ensaiado em dinamômetro de chassi, no ciclo de condução da NBR 6601. **Objetivo** – Explorar as diferenças entre os combustíveis etanol hidratado e gasolina relacionadas a emissões de exaustão, autonomia, consumo energético, e eficiência do veículo, nos ciclos de condução vigentes na regulamentação brasileira, em comparação com as norte-americanas e europeias, em um veículo “Flex” normal de produção. **Método** – O veículo foi ensaiado em dinamômetro de chassi seguindo ciclo de condução e amostragem de poluentes para medição de emissão de escapamento e economia de combustível, conforme as Normas: brasileira ABNT NBR 6601 e NBR 7024 nos ciclos EPA 75 e HIGHWAY; europeia nos ciclos “New European Driving Cycle” (NEDC) e “Worldwide harmonized Light Vehicles Test Cycle” (WLTC); e norte-americana no ciclo SC 03. Foi também ensaiado em rotas externas usando “Portable Emissions Measurement System” (PEMS), seguindo as exigências de condução e amostragem de poluentes conforme norma europeia, EURO 6D, teste tipo 1a, “Real Drive Emissions” (RDE), para medição da emissão de escapamento e economia de combustível. O consumo energético dos combustíveis foi calculado pelo Método do Combustível Consumido para todas as condições e pelo Método Integral de Energia do Motor, aplicado somente nos ensaios RDE. A eficiência do veículo foi calculada nos ensaios RDE utilizando a energia total produzida pelo motor, e a energia total produzida pela queima dos combustíveis. **Resultados** – Os ensaios RDE expuseram o motor a regiões de trabalho mais abrangentes do que todos os demais. As emissões de poluentes variam ciclo a ciclo entre os combustíveis, com exceção do CO₂ que é menor com etanol hidratado. A autonomia de combustível em km/l é melhor com gasolina, porém o consumo energético em MJ/km do etanol hidratado é predominantemente menor que o da gasolina principalmente nos testes RDE, exceto em dois testes em laboratório veicular. O veículo é mais eficiente quando utiliza etanol hidratado. **Conclusão** – Na análise da etapa Tanque às Rodas, “Tank to Wheel” (TTW), principalmente nas condições de uso real em rotas externas proporcionadas pelos ensaios RDE, ficou evidenciado os benefícios do uso do etanol hidratado em relação a gasolina. A adoção do RDE a partir da fase L7 do PROCONVE contribuirá para o conhecimento destas diferenças em todos os demais veículos. A sustentabilidade do etanol hidratado depende de ampla e detalhada análise da Fonte às Rodas, “Well to Wheel” (WTW). Existe controvérsia nos resultados dos estudos sobre as vantagens e desvantagens do biocombustível etanol hidratado na análise da etapa Fonte ao Tanque, “Well to Tank” (WTT).

Palavras chave: Biocombustíveis; Eficiência energética; Emissões de poluentes; Etanol hidratado; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Introduction - The recently approved ROTA 2030 program will encourage manufacturing companies to improve the energy efficiency of hydrous ethanol in "Flex" vehicle engines, as in the INOVAR-AUTO program. The rules of the program indicate that IPI reductions will be offered based on the ratio of autonomy between hydrated ethanol and gasoline equal to or greater than 0.693, without affecting the energy efficiency of gasoline. The benefits will be greater the greater the relationship. Studies of specific fuel consumption in a "Flex" production engine, performed in engine dynamometer, demonstrate the existence of working regions of the engine in which hydrous ethanol / gasoline ratio autonomy reaches 0.77. However, these working regions are not reached when the vehicle is tested in a chassis dynamometer in the driving cycle of NBR 6601. **Purpose** - To explore the differences between hydrous ethanol and gasoline related to exhaust emissions, fuel economy, energy consumption, and efficiency of the vehicle, in the driving cycles in the Brazilian regulation, compared to North American and European, in a normal "Flex" production vehicle. **Method** - The vehicle was tested in a chassis dynamometer following a driving cycle and sampling of pollutants for the measurement of exhaust emission and fuel economy, according to the norms: Brazilian ABNT NBR 6601 and NBR 7024 in cycles EPA 75 and HIGHWAY; European in the New European Driving Cycle (NEDC) and Worldwide harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC); and North American on the SC 03 cycle. It was also tested on external routes using the Portable Emissions Measurement System (PEMS), following the driving cycle and sampling of pollutants according to European standard, EURO 6D, test type 1a, Real Drive Emissions (RDE), for exhaust emission measurement and fuel economy. The energy consumption of the fuels was calculated by the Combined Fuel Method for all conditions and by the Integral Motor Energy Method, applied only in the RDE tests. The efficiency of the vehicle was calculated in the RDE tests using the total energy produced by the engine, and the total energy produced by the combustion of the fuels. **Results** - The RDE tests exposed the engine to wider work regions than all others. Emissions of pollutants vary from cycle to cycle between fuels, with the exception of CO₂ which is lower with hydrous ethanol. The fuel autonomy in km/l is better with gasoline, but the energy consumption in MJ/km of hydrous ethanol is predominantly lower than that of gasoline, especially in RDE tests, except in two tests in the vehicular laboratory. The vehicle is most efficient when using hydrous ethanol. **Conclusion** - In the analysis of the Tank to Wheel (TTW) stage, mainly in the conditions of real use in external routes, provided by RDE tests, the benefits of the use of hydrous ethanol in relation to gasoline were evident. The adoption of RDE from the L7 phase of PROCONVE will contribute to the knowledge of these differences in all other vehicles. The sustainability of hydrated ethanol depends on the extensive and detailed analysis of the Well to Wheel (WWT). There is controversy in the results of studies about the advantages and disadvantages of hydrated ethanol biofuel in the Well to Tank (WTT) stage analysis.

Key words: Biofuels; Energy efficiency; Emissions of pollutants; Hydrous ethanol; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As três dimensões da sustentabilidade e possíveis subcategorias.	78
Figura 2 - Sistemas de taxonomia para indicadores de fluxo de recursos, com exemplos de métricas específicas para a intensidade material, recuperação e impacto.	80
Figura 3 - Processo básico de medição de emissão de escapamento por meio do amostrador de volume constante (CVS).	108
Figura 4 - Laboratório de emissões veicular onde os ensaios foram realizados em dinamômetro de chassi.	122
Figura 5 - Um dos PEMS instalados na traseira do veículo avaliado.	123
Figura 6 - Um dos PEMS instalados no interior do veículo avaliado.	123
Figura 7 - Uma das rotas RDE percorridas no Campo de Provas da General Motors.	124

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação de consumo específico do motor 1.4 L “Flex” de produção em dinamômetro de motores.....	20
Gráfico 2 - Evolução das vendas, pelas distribuidoras, de etanol hidratado e gasolina.....	45
Gráfico 3 - Evolução das vendas, pelas distribuidoras, de etanol hidratado, etanol anidro e total de etanol (hidratado + anidro).	46
Gráfico 4 - Distribuição do total de vendas em 2016.....	46
Gráfico 5 - Evolução da produção de Automóveis e Comerciais Leves por tipo de combustível.....	57
Gráfico 6 - Evolução da produção de Automóveis por tipo de combustível.	58
Gráfico 7 - Evolução da produção de Comerciais Leves por tipo de combustível. ...	58
Gráfico 8 - Evolução da frota nacional por combustível.....	59
Gráfico 9 - Evolução da frota circulante de Automóveis por tipo de combustível.....	59
Gráfico 10 - Evolução da frota circulante de Comerciais Leves por tipo de combustível.....	60
Gráfico 11 - Evolução da produção nacional de autoveículos.	63
Gráfico 12 - Evolução da relação entre a população residente e a frota de autoveículos.....	64
Gráfico 13 - Estimativa da evolução da frota nacional de veículos.....	64
Gráfico 14 - Intensidade de uso de referência para Automóveis e Comerciais Leves.	65
Gráfico 15 - Concentração de CO ₂ na atmosfera medida em Mouna Loa, no Havaí.	94
Gráfico 16 - Evoluções dos limites de emissões do PROCONVE para veículos automotores leves, com motores do ciclo Otto.....	101
Gráfico 17 - Perfil de velocidade e duração dos ciclos de condução EPA 75, HIGHWAY, NEDC, SC 03 e WLTC.	111
Gráfico 18 - Perfil de velocidade e duração de dois exemplos de ensaios RDE.....	112
Gráfico 19 - Exemplo do acúmulo de energia produzido pelo motor, calculado pelo MIEM para os ensaios RDE.....	115
Gráfico 20 - Segmento expandido da velocidade e energia acumulada produzida pelo motor.	116
Gráfico 21 - Evolução da quantidade de testes realizados na pesquisa.....	120
Gráfico 22 - Regiões de trabalho do motor nos diferentes ciclos de condução (EPA 75, HIGHWAY, NEDC, SC O3, WLTC e um exemplo de RDE).	126
Gráfico 23 - Resultados de HC total em g/km, com os combustíveis E100 e E22 em todos os ciclos de condução, exceto RDE. Resultados relativos ao EPA 75 com E100.....	128
Gráfico 24 - Resultados de NMHC-ETOH em g/km, com os combustíveis E100 e E22 nos ciclos de condução EPA 75 e WLTC. Resultados relativos ao EPA 75 com E100.....	128
Gráfico 25 - Comparação da temperatura do líquido de arrefecimento do motor nos ciclos EPA 75 e WLTC. Ambos com combustível E100.	129
Gráfico 26 - Comparação da temperatura do catalizador nos ciclos EPA 75 e WLTC. Ambos com combustível E100.	129
Gráfico 27 - Resultados de CO em g/km, com os combustíveis E100 e E22 em todos os ciclos de condução. Resultados relativos ao EPA 75 com E100.	130

Gráfico 28 - Resultados de NO _x em g/km, com os combustíveis E100 e E22 em todos os ciclos de condução. Resultados relativos ao EPA 75 com E100.	131
Gráfico 29 - Resultados de CO ₂ em g/km, com os combustíveis E100 e E22 em todos os ciclos de condução. Resultados relativos ao EPA 75 com E100.	131
Gráfico 30 - Diferença percentual de CO ₂ entre os combustíveis E22 e E100 (g/km) em todos os ciclos de condução.	132
Gráfico 31 - Quantidade de partículas MP _{2,5} contadas com os combustíveis E100 e E22 nos ensaios com o ciclo EPA 75.	132
Gráfico 32 - Emissões de MP _{2,5} com E100 e E22 no ciclo de condução EPA 75. ...	133
Gráfico 33 - Consumo absoluto de combustível (L) em todos os ciclos de condução.	134
Gráfico 34 - Diferença percentual de combustível consumido entre E22 e E100 (L) em todos os ciclos de condução.	135
Gráfico 35 - Resultados de autonomia (km/L), em todos os ciclos de condução, incluindo RDE.	135
Gráfico 36 - Diferença percentual de autonomia entre E22 e E100 (km/L) em todos os ciclos de condução, inclusive RDE.	136
Gráfico 37 - Relação de autonomia E100 (km/L) / E22 (km/L), em todos os ciclos de condução, incluindo RDE.	137
Gráfico 38 - Energia total produzida pela queima dos combustíveis (MJ) em todos os ciclos de condução.	138
Gráfico 39 - Consumo energético dos combustíveis E100 e E22 (MJ/km) em todos os ciclos de condução.	138
Gráfico 40 - Diferença percentual do consumo energético (MJ/km) dos combustíveis E22 e E100 em todos os ciclos de condução.	139
Gráfico 41 - Energia total produzida pelo motor (MJ) durante todos os ensaios RDE, nas condições “frio” e “quente”, com os combustíveis E100 e E22.	140
Gráfico 42 - Média da energia total produzida pelo motor (MJ) em todos os ensaios RDE.	140
Gráfico 43 - Consumo energético médio (MJ/km) dos combustíveis E100 e E22 em todos os ensaios RDE. (Energia total produzida pelo motor/distância percorrida). .	141
Gráfico 44 - Energia total produzida pelo motor (MJ) em um ensaio em cada ciclo de laboratório.	141
Gráfico 45 - Energia total produzida pelo motor (MJ) em um ensaio em cada ciclo de laboratório e em um ensaio RDE.	142
Gráfico 46 - Média da energia total produzida pela queima dos combustíveis (MJ) nos ensaios RDE nas condições frio e quente.	143
Gráfico 47 - Eficiência do veículo com E100 e E22 nas condições de ensaio frio e quente.	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção global de veículos em 2016 e 2017.	62
Tabela 2 - Produção nacional de veículos em 2016 e 2017.	62
Tabela 3 - Produção global e nacional de veículos em 2017.	62
Tabela 4 - Principais categorias dos Indicadores aplicáveis aos Sistemas integrados.	81
Tabela 5 - Fases do PROCONVE para Automóveis e Utilitários.	100
Tabela 6 – Parâmetros de distância percorrida, duração e velocidade média dos ciclos de condução.	112
Tabela 7 - Propriedades dos combustíveis considerada nesta pesquisa.	117
Tabela 8 - Conjunto descritivo dos ensaios e condições pesquisadas.	117
Tabela 9 - Parâmetros analisados e calculados nos ensaios.	119
Tabela 10 - Informações complementares sobre os testes	120
Tabela 11 - Resultado médio final das emissões de MP _{2,5} com os combustíveis E100 e E22.	133
Tabela 12 - Valores de autonomia do veículo “Flex” considerado no estudo.	134
Tabela 13 - Resumo dos resultados de emissões de exaustão, autonomia, relação de autonomia, consumo energético e eficiência do veículo, com os combustíveis E100 e E22 em todos os ensaios e condições.	145

LISTA DE SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACICLO	Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares
ABS	Anti-lock Braking System
ACV	Análise do Ciclo de Vida
AEA	Associação de Engenharia Automotiva
AEHC	Álcool Etílico Hidratado Combustível
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APC	Ar por Cilindro. Massa de ar aspirada pelo cilindro do motor
BEN	Balanco Energético Nacional
BFSC	Break Fuel Specific Consumption
BRIC	Brasil, Rússia, Índia e China
CAFE	Corporate Average Fuel Economy
cc	Centímetros cúbicos. Unidade de medida da grandeza de um motor.
CDIAC	Carbon Dioxide Information Analysis Center
CEE	Comunidade Econômica Europeia
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGEE	Centro de Gestão de Assuntos Estratégicos do MCTI
CH ₄	Metano
CHO	Aldeídos. Compostos orgânicos que possuem grupo funcional
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COLD CO	Procedimento e ciclo de condução norte-americano para ensaios de emissões e consumo de combustível à temperatura ambiente a -7°C
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
cv	Cavalo-vapor. Unidade de medida de potência
CVS	Constant Volume Sampling
E100	Combustível líquido Etanol Hidratado
E22	Combustível líquido Gasool com 22% de Álcool Anidro
ECE	Economic Commission for Europe
ECR	Emissões em Condições Reais
EHR	Etanol Hidratado combustível de Referência
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPA	Environmental Protection Agency
EPA75	Ciclo de Condução urbano norte-americano para ensaios de emissões de poluentes e consumo de combustível
ETOH	Álcool Etílico

EUA	Estados Unidos da América
EURO 6	Regulamentação europeia de emissões de poluentes e consumo de combustível
EURO 6D	Regulamentação europeia de emissões de poluentes e consumo de combustível que utiliza o RDE
EVAP	Emissões Evaporativas
FAO	Food and Agriculture Organization of the United States
FFV	Flexible-Fuel Vehicle
FLEX-FUEL ou "Flex"	Veículo que pode ser abastecido no mesmo tanque com dois combustíveis
FMC	Fumaça
FTP	Federal Test Procedure
g	Grama. Unidade de medida de massa
GEE	Gás de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
GPE	Gasolina Padrão Emissões
GPS	Global Positioning System
GtC	Gigatonelada de Carbono. Unidade de massa
GtCO ₂	Gigatonelada de CO ₂ . Unidade de massa
GWP	Global Warming Potential
HC	Hidrocarboneto
hp	Horse-power. Unidade de medida de potência
HWY	Highway. Ciclo de Condução rodoviário norte-americano para ensaios de emissões de poluentes e consumo de combustível
Hz	Hertz
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	International Energy Agency
IM	Programa de Inspeção e Manutenção
INMETRO	Instituto Nacional de Meteorologia, Qualidade e Tecnologia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
km	Quilômetro. Unidade de distância
L	Litro. Unidade de volume
LHV	Lower heating value
m	Metro. Unidade de distância
m ²	Metro quadrado. Unidade de área
m ³	Metro cúbico. Unidade de volume
MCC	Método de Consumo de Combustível
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
mg	Miligrama. Unidade de massa
MIEM	Método Integral de Energia do Motor
MJ	Megajoule. Unidade de energia

mm	Milímetros. Unidade de distância
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério das Minas e Energia
MP	Material Particulado
MPFI	Multi-Port Fuel Injection
Mt	Megatonelada. Unidade de massa
Mtep	Megatonelada equivalente de petróleo. Unidade de energia definida como calor liberado na combustão de 1 megatonelada de petróleo cru
MW	Megawatt. Unidade de potência
N	Newton. Unidade de força
N ₂ O	Óxido Nitroso
NBR	Norma Brasileira aprovada pela ABNT
NEDC	New European Driving Cycle
nm	Nanometro. Unidade de distância
NMHC	Non-Methane Hydrocarbons. Hidrocarbonetos Não-Metano
NMHC-ETOH	Hidrocarboneto não metano descontado de álcool não queimado
NO	Óxido Nítrico
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
NRC	National Research Council
O ₃	Ozônio
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
OICA	Organização Internacional de Fabricantes de Veículos Automotores
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
ORD	Office of Research and Development
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PBEV	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
PEMS	Portable Emissions Measurement System
PIS	Programa de Integração Social
PN	Particle Number. Número de Partículas
PNC	Particle Number Counter
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
ppm	Parte por milhão
PROCONVE	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROMOT	Programa de Controle da Poluição do Ar por Motocicletas e Veículos Similares
PTS	Partículas Totais em Suspensão
RDE	Real Driving Emissions
REDD	Reduções de Emissões por Desmatamento e Degradação
RPM	Rotação Por Minuto. Unidade de velocidade angular
SAE	Society of Automotive Engineers
SC 03	Ciclo de Condução norte-americano para ensaios de emissões de poluentes e consumo de combustível com ar condicionado em operação
SIMEA	Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva
SO ₂	Dióxido de Enxofre

THC	HC Total
TIB	Tecnologia Industrial Básica
TTW	Tank to Wheel
TWC	Test Weight Class
UNECE	Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa
US 06	Ciclo de Condução norte-americano para ensaios de emissões de poluentes e consumo de combustível com veículos em alta velocidade
W	Watt. Unidade de potência
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WHO	World Health Organization
WLTC	Worldwide harmonized Light Vehicles Test Cycle
WTT	Well to Tank
WTW	Well to Wheel
ZEV	Zero Emissions Vehicle
µm	Micrometro. Unidade de distância

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA.....	21
1.2 OBJETIVOS	22
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	22
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
1.3 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO ESTUDO	24
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	25
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1 O AUTOMÓVEL	27
2.1.1 COMBUSTÍVEIS	42
2.1.1.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO ETANOL HIDRATADO	47
2.1.2 VEÍCULOS “FLEX”	56
2.1.3 INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA	60
2.1.4 USO DO AUTOMÓVEL PELA SOCIEDADE CONTEMPORÂNEA.....	63
2.2 SUSTENTABILIDADE	66
2.2.1 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE	77
2.2.2 AUTOMÓVEL E SUSTENTABILIDADE	81
2.2.3 POLUIÇÃO DO AR, POLUENTES e SAÚDE PÚBLICA	86
2.2.4 DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂) E AQUECIMENTO GLOBAL.....	91
2.3 PROGRAMAS GOVERNAMENTAIS.....	95
2.3.1 PROÁLCOOL	95
2.3.2 PROCONVE.....	97
2.3.3 CONPET / PBEV	102
2.3.4 INOVAR-AUTO e ROTA 2030.....	104
2.3.5 NOTA VERDE	105
2.3.6 NORMAS E REGULAMENTAÇÕES.....	106
2.3.7 CICLOS DE CONDUÇÃO	108
3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS	113
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	113
3.2 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	114
3.3 PLANO DE ANÁLISE DOS RESULTADOS	119
3.4 OBJETOS E INSTRUMENTOS DA PESQUISA	121
4 RESULTADOS	125
4.1 REGIÃO DE TRABALHO DO MOTOR.....	125
4.2 EMISSÕES DE EXAUSTÃO.....	127
4.3 AUTONOMIA.....	134
4.4 CONSUMO ENERGÉTICO DOS COMBUSTÍVEIS	137
4.4.1 MÉTODO DO COMBUSTÍVEL CONSUMIDO	137
4.4.2 MÉTODO INTEGRAL DE ENERGIA DO MOTOR	139
4.5 EFICIÊNCIA DO VEÍCULO.....	142
4.6 RESUMO DOS RESULTADOS	143
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	146
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148