

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU - FURB  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**DISSERTAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA E  
SUAS EMISSÕES UTILIZANDO BIOGASOLINA DO CRAQUEAMENTO  
TÉRMICO DE GORDURAS RESIDUAIS**

**ANDREI GOLDBACH**

**BLUMENAU  
2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU - FURB  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA E  
SUAS EMISSÕES UTILIZANDO BIOGASOLINA DO CRAQUEAMENTO  
TÉRMICO DE GORDURAS RESIDUAIS**

**ANDREI GOLDBACH**

Orientador: Dr. Antônio André Chivanga Barros  
Co-orientador: Henry França Meier

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau

**BLUMENAU  
2008**

**ANDREI GOLDBACH**

**AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA E  
SUAS EMISSÕES UTILIZANDO BIOGASOLINA DO CRAQUEAMENTO  
TÉRMICO DE GORDURAS RESIDUAIS**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental na universidade Regional de Blumenau – FURB, pela comissão formada pelos professores:

---

Prof. Dr. Adilson Pinheiro  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

---

Prof. Dr. Antônio André Chivanga Barros (orientador)

---

Prof. Dr. Henry França Meier (co-orientador)

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Vinicyus Rodolfo Wiggers

---

Prof. Dr. Henrique de Melo Lisboa

---

Prof<sup>a</sup>. PhD. Deyse Elisabeth Ortiz Suman Carpenter

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, força, paciência e paz de espírito para a realização deste trabalho.

À minha esposa, Ana Rúbia, pela sua paciência, dedicação e ajuda, principalmente nos momentos de interrupções causadas pelos meus dois filhos Pedro (2 anos) e Augusto (4 anos) que exigiam a presença do pai.

Ao meu professor e orientador, Dr. Antônio André Chivanga Barros, e meu co-orientador, Henry França Méier, pela paciência, serenidade, dedicação e sugestões na elaboração da dissertação e principalmente pela tranquilidade que me passaram nas horas difíceis.

Aos meus pais pelo apoio prestado e ajuda financeira nos momentos de maior dificuldade.

Um especial agradecimento a minha tia, Lígia, que me acolheu em sua casa na cidade de Blumenau pelo período de dois anos e ao meu cunhado, Jairo, que me orientou com muita dedicação nos assuntos de informática e línguas portuguesa e inglesa.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica e ao Departamento de Química da FURB pela confiança no empréstimo de equipamentos.

**“A NATUREZA NÃO É UM BEM  
INESGOTÁVEL”**

**SENENT (1979)**

## RESUMO

Com a crescente demanda por consumo de combustíveis fósseis e a necessidade de minimizar as emissões gasosas causadoras do efeito estufa, são hoje desenvolvidos estudos investigativos que têm proporcionado a implementação de tecnologias para a produção de combustíveis alternativos, com destaque para aqueles oriundos dos processos de esterificação/transesterificação e craqueamento térmico. A qualidade dos produtos resultantes tem sido incrementada com o uso de processos de separação, o que viabiliza a utilização dos novos combustíveis para a combustão em motores de combustão interna. Foi com esta perspectiva que se desenvolveu o presente trabalho de pesquisa que buscou avaliar o uso de biocombustíveis obtidos por craqueamento térmico de resíduos gordurosos (biogasolina) em um motor de motocicleta Honda CG 125 cilindradas, verificando performance operacional no que concerne ao torque, consumo e emissões gasosas. A avaliação da qualidade operacional do motor foi estudada usando-se gasolina Podium sem aditivos e, em seguida, incrementando-a com frações variáveis de biogasolina. Na operação da moto explorou-se também o incremento nas rotações do motor e as alterações de marchas, cujos parâmetros possibilitaram avaliar o impacto destes sobre a qualidade de emissões gasosas, potência do motor e o consumo. Os resultados obtidos possibilitaram observar que, nas faixas das concentrações exploradas, as taxas de emissões gasosas inorgânicas ( $\text{CO}_2$ ) e orgânicas (metano, etano e propano), oriundas da combustão do combustível utilizado, diminuem com o aumento das frações da biogasolina na gasolina e têm uma relação direta com a aceleração do motor. Observou-se também que o desempenho da moto, medido através do torque, mostrou similaridade em todas as combinações dos combustíveis e nas suas respectivas marchas, com melhorias significativas na medida do torque a 4000 rpm. Com relação ao consumo, observou-se um ligeiro incremento neste parâmetro com as variáveis exploradas, independentemente das frações da biogasolina presentes na gasolina Podium. Considerando-se os impactos ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis e os resultados obtidos, pode-se concluir que a biogasolina explorada neste trabalho é um biocombustível capaz de substituir a gasolina com vantagens na redução de taxas de emissões gasosas causadoras do efeito estufa, sem grande impacto sobre a qualidade operacional do motor e com similaridade nos parâmetros de consumo avaliados. Para a área objeto desta dissertação, este trabalho contribui grandemente no alargamento das fronteiras de investigação com a proposição de uso de combustíveis alternativos e conseqüente incorporação destes na matriz energética brasileira.

Palavras-chave: Biogasolina, craqueamento térmico, performance, emissões gasosas.

## ABSTRACT

With the growing demand for fossil fuel and the need to minimize greenhouse gases emissions, investigative studies have been developed to allow the implementation of technologies that produce alternative fuels, with special emphasis for those developed from esterification/transesterification and catalytic cracking processes. The quality of the resulting products has increased with the use of separation processes, which makes the use of the alternative fuels possible for internal combustion motors. It was with this new perspective in mind that this research paper was developed within the Environmental Engineering Master's Program, striving to assess the use of biofuels, obtained by catalytic cracking of fatty wastes (biogasoline), in a Honda CG 125 cc motorcycle motor, which allowed the evaluation of the operational performance in terms of torque, consumption and emissions of greenhouse gases. The quality assessment of the motor's operation was studied using Podium gasoline without additives, and, subsequently, incrementing it with variable fractions of biogasolina. The effects of increasing the rotations of the motor and the switching of gears were also explored, allowing for the evaluation of their impact on the motor's power, consumption and quality of the greenhouse gases emissions. Results showed that, within the examined range of concentrations, the rate of inorganic ( $\text{CO}_2$ ) and organic (methane, ethane and propane) greenhouse gases emissions, arising from the combustion of the fuel utilized, decreases as the fractions of biogasoline are increased and is directly related to the acceleration of the motor. It was also noticed that the motor's performance, measured by the torque, was similar for all fuel combinations and respective gears, exhibiting significant torque measurement improvement at 4000 rpm. In terms of consumption, it was determined that there was a small increase in this parameter for the analyzed variants, independent of the biogasoline fractions in the Podium gasoline. Considering the environmental impact resulting from the use of fossil fuels and the attained results, it is possible to conclude that the biogasoline used in this research is a biofuel capable of substituting regular gasoline, with advantages in the reduction in greenhouse emissions rates, no great impact in the quality of the motor's operation and similar consumption parameters. Concerning the subject area of this dissertation, this research has immensely contributed to the unraveling of the investigative horizons, with its proposal to use alternative fuels and its consequent integration into the Brazilian energy program.

Keywords: Biogasoline, catalytic cracking, performance, greenhouse emissions.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Formação do biodiesel.....	14
Figura 2: Motor: vista frontal depois da aquisição.....	43
Figura 3: Motor: vista lateral depois da limpeza.....	43
Figura 4: Aparato mecânico.....	44
Figura 5: Estrutura completa.....	45
Figura 6: Gasolina podium.....	46
Figura 7: Dinamômetro.....	48
Figura 8: Dinamômetro completo.....	49
Figura 9: Sistema de alimentação de combustível.....	50
Figura 10: Câmera infravermelha.....	51
Figura 11: Fotos em infravermelho.....	52
Figura 12: Contagirom.....	52
Figura 13: Micro-cromatógrafo gasoso.....	55
Figura 14: Sistema de aquisição de dados.....	57
Figura 15: Estado do motor.....	61
Figura 16: Materiais desconhecidos.....	62
Figura 17: Torque 2000 rpm.....	63
Figura 18: Torque 4000 rpm.....	64
Figura 19: Consumo de combustível.....	65
Figura 20: Cromatografia do gás padrão.....	67
Figura 21: Cromatografia do ar local.....	67
Figura 22: Cromatografia da gasolina Podium a 4000 rpm.....	68
Figura 23: Cromatografia da BG20 a 4000 rpm.....	69
Figura 24: Cromatografia da BG30 a 4000 rpm.....	69
Figura 25: Cromatografia do combustível BG20 a 2000 e a 4000 rpm.....	70
Figura 26: Cromatografia do combustível BG30 a 2000 e a 4000 rpm.....	71
Figura 27: Emissão de CO <sub>2</sub> .....	72
Figura 28: Emissão gasosa de metano.....	73
Figura 29: Emissão gasosa de etano.....	74
Figura 30: Emissão gasosa de propano.....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Formas de comercialização e tipos de Diesel.....	7
Tabela 2: Temperatura de inflamação de alguns combustíveis.....	20
Tabela 3: Potência calorífica.....	20
Tabela 4: Principais constituintes do ar seco.....	21
Tabela 5: Limites máximos para veículos leves.....	27
Tabela 6: Limites máximos para veículos leves comerciais de até 1.700 kg.....	28
Tabela 7: Limites máximos para veículos leves comerciais maiores que 1.700 kg.....	28

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Relações correspondentes para movimentos de rotação pura.....	36
Quadro 2: Reparos realizados no motor antes dos ensaios.....	43
Quadro 3: Principais adaptações e aquisições na montagem do dinamômetro.....	47
Quadro 4: Coluna HayeSep A.....	56
Quadro 5: Seqüência de execução dos experimentos.....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

ANTT: Agência Nacional de Transportes Terrestres.

API: Instituto Americano de Petróleo.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

BXX: concentração de biodiesel na mistura (B25: mistura de 25% de biodiesel e 75 de diesel).

BGXX: concentração de biogasolina na mistura (BG25: mistura de 25% de biogasolina e 75% de gasolina).

BTEX: Benzeno, Tolueno, Enxofre e Xileno.

BTU: British Thermal Unit.

°C: Graus Celsius.

CEN: Comitê Europeu de Normalisation.

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

CV: Cavallo Vapor.

CNTP: Condições Normais de Temperatura e Pressão.

EIA: Energy Information Administration.

EPA: Agência Ambiental Americana.

ETBE: Etiltercibutiléter.

°F: Graus Fahrenheit.

FURB: Fundação Universidade Regional de Blumenau.

G100: Gasolina Podium.

HCO: Aldeídos.

HP: Horse Power.

IAD: Índice Antidetonante.

IPTB: Instituto de Pesquisa Tecnológica de Blumenau.

ISO: International Standards Organization.

LDP: Laboratório de Desenvolvimento de Processos.

MP: material Particulado.

NBB: Nacional Biodiesel Board.

NMHC: Hidrocarbonetos Não Metano.

NO<sub>x</sub> Otto: óxidos de Nitrogênio para motores de ciclo Otto.

NO<sub>x</sub> Diesel: óxidos de Nitrogênio para motores à Diesel.

PAH: Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos.

PCS: Poder Calorífico Superior.

PMI: Ponto Morto Inferior.

PMS: Ponto Morto Superior.

PORIN: Instituto de Pesquisa da Malásia.

ppm: Partes por milhão.

PROÁLCOOL: Programa Nacional do Álcool.

PROCONVE: Programa Brasileiro de Poluição por Veículos.

PSI: Pounds per Square Inch.

rpm: rotações por minuto.

SSU: Saybolt Seconds Universal.

THC: Hidrocarbonetos Totais.

VCC: Voltagem em Corrente Contínua.

VCA: Voltagem em Corrente Alternada.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>4</b>
2.1	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS .....	4
<b>2.1.1</b>	<b>Outros Combustíveis Fósseis .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Gasolina .....</b>	<b>10</b>
2.2	BIOCOMBUSTÍVEIS.....	11
<b>2.2.1</b>	<b>Outros Biocombustíveis .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Biogasolina .....</b>	<b>16</b>
2.3	COMBUSTÃO DE COMBUSTÍVEIS E BIOCOMBUSTÍVEIS .....	18
2.4	EMISSÕES GASOSAS DECORRENTES DA COMBUSTÃO DE COMBUSTÍVEIS E BIOCOMBUSTÍVEIS.....	21
<b>2.4.1</b>	<b>Substâncias Poluentes .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Principais substâncias poluidoras do ar e seus efeitos sobre a saúde humana .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Emissão veicular .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Legislação sobre emissão veicular.....</b>	<b>26</b>
2.5	MECÂNICA DE MOTOCICLETAS.....	28
<b>2.5.1</b>	<b>Constituição da motocicleta.....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Motores.....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Parte superior do motor.....</b>	<b>33</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Parte inferior e sistema de transmissão.....</b>	<b>33</b>
<b>2.5.5</b>	<b>Sistema elétrico de ignição.....</b>	<b>34</b>
<b>2.5.6</b>	<b>Sistema de alimentação .....</b>	<b>35</b>
2.6	PERFORMANCE MECÂNICA .....	35
<b>2.6.1</b>	<b>Torque .....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Potência .....</b>	<b>36</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Rendimento .....</b>	<b>38</b>
<b>2.6.4</b>	<b>Consumo .....</b>	<b>39</b>
2.7	PERFORMANCE DOS BIOCOMBUSTÍVEIS E SUAS EMISSÕES .....	40
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
3.1	CONDIÇÕES DOS ENSAIOS COM O MOTOR.....	42
3.2	INSUMOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS.....	45
<b>3.2.1</b>	<b>Biogasolina .....</b>	<b>45</b>

<b>3.2.2</b>	<b>Gasolina e misturas .....</b>	<b>46</b>
3.3	DESMONTAGEM E MONTAGEM DO MOTOR ENTRE EXPERIMENTOS .....	46
3.4	MONTAGEM DO DINAMÔMETRO .....	47
3.5	MEDIDOR DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL .....	50
3.6	CONTROLE DA TEMPERATURA DO MOTOR .....	51
3.7	CONTROLE DA ROTAÇÃO DO MOTOR .....	52
3.8	MEDIDA DO TEMPO .....	53
3.9	MEDIDA DO CONSUMO .....	53
3.10	MEDIDA DO TORQUE .....	53
3.11	MEDIDA QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS GASES EXAURIDOS .....	54
3.12	ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DOS GASES DE COMBUSTÃO .....	55
<b>3.12.1</b>	<b>Parâmetros de análise da biogasolina.....</b>	<b>57</b>
3.13	PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS .....	58
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>60</b>
4.1	OPERAÇÃO DA MOTOCICLETA .....	60
4.2	PERFORMANCE MECÂNICA EM FUNÇÃO DO TORQUE.....	63
4.3	PERFORMANCE MECÂNICA EM FUNÇÃO DO CONSUMO .....	65
4.4	EMISSÕES GASOSAS.....	66
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>76</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da sociedade moderna é alcançar um crescimento econômico compatível com a sustentabilidade ambiental. O problema ambiental assumiu proporções internacionais, cujas soluções requerem estratégias baseadas em acordos e entendimentos que levam em conta suas diferenças culturais, diversidade política e estágio de desenvolvimento, para evitar que os esforços de alguns sejam comprometidos pelo comportamento inadequado de outros. As alterações verificadas no clima do nosso planeta, decorrentes do aquecimento global, pela intensificação do efeito estufa, atingirão os sistemas naturais e elementos como os oceanos, a atmosfera e a terra. O problema afetará setores da economia, grupos populacionais e regiões geográficas durante longo período, até a estabilização desejada da concentração de gases de efeito estufa. Os esforços devem se concentrar em melhorias da eficiência dos meios de produção, visando minimizar a poluição, principalmente em países em desenvolvimento ou nas economias de transição. Por isso, não só torna-se necessário, mas demanda-se a implementação de projetos e estudos como este a fim de desenvolver tecnologias ambientais saudáveis, reduzir os custos, ampliar o uso de energia renovável e melhorar a eficiência do uso final de energia e dos meios de transporte.

Os combustíveis derivados do petróleo representam 81% das fontes de energia global (petróleo 35%, carvão e derivados 25,3% e gás natural 20,7%) e têm sido o mais utilizado recurso energético do mundo no setor de transportes (MME, 2008). O consumo desenfreado desses combustíveis deve-se ao aumento da população mundial, o qual ocasiona o aumento das taxas de extração de recursos minerais não renováveis a fim de garantir o atendimento das demandas energéticas mundiais. As projeções estatísticas ainda prevêem um forte crescimento do consumo energético que deve refletir diretamente no aumento do consumo de combustíveis (BIODIESELBR, 2008). Para o atendimento de tais demandas, é necessário implementar estratégias para o desenvolvimento de novos combustíveis os quais podem ser derivados de recursos renováveis, incluindo a biomassa e produtos residuais (WUST, 2004). Dentro dessa perspectiva, as investigações avançam na busca por fontes alternativas de energia, uma vez que os recursos não-renováveis estão em fase de esgotamento e dependem dos volumes armazenados nos poços descobertos até o momento (BIODIESELBR, 2008). Essa busca por combustíveis alternativos é fortalecida pelos impactos negativos decorrentes do uso de combustíveis fósseis, evidenciados pelo aquecimento global e conseqüente instabilidade climática e ambiental causados pela alta taxa de emissão de gases (com destaque para o dióxido de carbono) que contribuem para o efeito estufa (LEITE, 2001).

Para minimizar o problema, estudos alternativos têm sido desenvolvidos com destaque para aqueles que proporcionam o uso de combustíveis renováveis provenientes de

óleos vegetais que têm o potencial de substituírem os combustíveis fósseis. As investigações têm caminhado nessa direção por considerar-se que os recursos renováveis são abundantes, disponíveis em todos os lugares e mais favorável ao meio ambiente do que os recursos fósseis. Destacam-se, no âmbito dos avanços tecnológicos, as investigações e desenvolvimento de tecnologias relacionados à produção de biocombustíveis derivados de óleos vegetais, resíduos de óleos de fritura e gordura animal, os quais apresentam um grande potencial energético renovável e constituem-se, atualmente, na principal alternativa ao diesel do petróleo. É nessa perspectiva que o biodiesel, oriundo da esterificação/transesterificação de óleos e gorduras, tem sido introduzido, em proporções variáveis, no diesel fóssil.

A possibilidade da utilização de óleos vegetais como combustível já é reconhecida desde o surgimento do motor a Diesel (DEMIRBAS, 2007). Uma das primeiras implementações do processo de transesterificação de óleo vegetal na produção de biodiesel foi feita para veículos pesados na África do Sul, antes da Segunda Guerra Mundial. Os óleos vegetais, quando usados como combustíveis, possuem alta viscosidade, problema esse que pode ser resolvido por processos de diluição, micro-emulsificação, pirólise e transesterificação. Um dos métodos mais simples de reduzir a viscosidade do óleo em processos industriais consiste na transesterificação, tendo como principal produto e subproduto o biodiesel e a glicerina, respectivamente. Na reação de transesterificação é necessária a presença de catalisadores homogêneos, tal como o hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de sódio (NaOH) ou o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), ou catalisadores heterogêneos, tal como óxidos de metal ou carbonatos. Vale observar que o hidróxido de sódio é o mais utilizado dado o baixo custo de aquisição e suas altas taxas de conversão.

Novos estudos têm possibilitado o desenvolvimento do processo de conversão de óleos e gorduras em bio-gás, bio-óleo, “green” diesel e biogolina, por craqueamento térmico de óleos vegetais e gorduras residuais. Os biocombustíveis descritos apresentam alto poder calorífico e representam uma excelente alternativa para os motores de combustão interna, pois são biodegradáveis e provenientes de fontes renováveis.

A biogolina, produzida através do craqueamento térmico de biomassa a base de triglicerídeos, é outra alternativa viável, natural e renovável. Permite reaproveitar resíduos e economizar recursos naturais não renováveis para o Brasil e outros países com grandes reservatórios de biomassa, principalmente ao considerar-se que no Brasil foram vendidos mais de 24 milhões de litros de gasolina em 2007 (ANP, 2008) com uma estimativa de crescimento anual de 2% entre os anos de 2007 e 2011 (BRASILENERGIA, 2008).

As concepções contextualizadas acima indicam a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de biocombustíveis capazes de substituir os combustíveis derivados de petróleo, responsáveis pelas altas taxas de emissões gasosas, principais

causadores do efeito estufa. É nessa direção que se desenvolve esta dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental que trás como principal objetivo implementar a instalação de uma bancada de combustão num motor de motocicleta, Honda CG 125, de forma a avaliar a sua performance operacional, utilizando a gasolina Podium e misturas com biogasolina oriunda do craqueamento térmico de óleo de peixe como combustíveis. Conseqüentemente, avaliar-se-ão as emissões gasosas, comparando-se os resultados com aqueles oriundos da operação da motocicleta com gasolina Podium de padrões aprovados pela ANP.

Para tanto, projetou-se e construiu-se uma bancada de provas para a realização de testes de combustão com diferentes misturas de combustíveis para: determinar o desempenho mecânico em termos de torque e consumo de combustível para os diferentes combustíveis; determinar, qualitativa e quantitativamente, as emissões de gases orgânicos e inorgânicos produzidas pelo motor de ciclo Otto, monocilíndrico, de combustão interna, alimentado com diferentes combustíveis (gasolina Podium, BG10, BG15, BG20, BG25 e BG30), principalmente os níveis de dióxido de carbono, principal gás causador do efeito estufa, e hidrocarbonetos alifáticos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados os seguintes tópicos: combustíveis fósseis, biocombustíveis, combustão de combustíveis e biocombustíveis, emissões gasosas decorrentes da combustão de combustíveis e biocombustíveis, mecânica de motocicletas, performance mecânica e performance dos biocombustíveis e suas emissões.

### 2.1 COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

A palavra fóssil significa restos ou vestígios de animais ou vegetais que viveram em épocas pré-históricas e que se conservaram no interior dos sedimentos. Na antigüidade, a palavra fóssil (do latim *fossilis*, “extraído da terra”) significava qualquer coisa estranha encontrada numa rocha (BARSA (a), 2002).

Pesquisas arqueológicas demonstraram que o petróleo já era conhecido na Antigüidade, ainda que sob forma rudimentar. Os Egípcios utilizavam o betume, no ano 5000 a.C., para preservar os corpos dos faraós e, segundo sua crença, para protegê-los contra os deuses do mal. O betume também foi utilizado em 3000 a.C., na Mesopotâmia, como material de construção; em Jerusalém, foi utilizado oficialmente na iluminação de altares; e, em Alexandria, no início da era cristã, o petróleo foi destilado pela primeira vez. O petróleo tem acompanhado a trajetória da humanidade desde seus primórdios, trazendo consigo, por um lado, progresso e conforto e, por outro, desavenças entre nações que quase sempre culminam em atividades bélicas. Destaca-se como o mais importante fator das transformações, o regime de domínio e de aproveitamento das jazidas minerais (BARBOSA, 2004).

Toda matéria orgânica, seja de origem vegetal ou animal, pode ser usado como combustível. O óleo, os gases e os depósitos minerais caminham e se distribuem através das fraturas geológicas, obedecendo à força da gravidade e da capilaridade e pode aparecer em locais distantes da jazida (BARBOSA, 2004). Sua composição básica contém carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre e nitrogênio, podendo estar nos estados sólido, líquido e gasoso. Algumas substâncias não orgânicas, tais como o enxofre e o magnésio, também podem ser combustíveis. Os combustíveis podem ser classificados em naturais (fósseis) e artificiais, sendo os primeiros extraídos da natureza e os artificiais obtidos por processos tecnológicos. Dos naturais, de origem fóssil, destacam-se o petróleo, o carvão mineral (hulha, andracitos, linhito, turfa) e xistos betuminosos. Entre os naturais, provenientes da biomassa, pode-se

destacar a madeira e resíduos celulósicos, óleos vegetais, gorduras animais, ceras e resinas. Os combustíveis naturais, quando transformados química, física e mecanicamente, tornam-se artificiais. Através da destilação fracionada do petróleo, obtém-se, entre outros, a gasolina e o querosene. Por catálise ou craqueamento térmico, obtém-se o óleo diesel (TOSSELO, 1980).

Conforme Vlassov (2001), combustível é toda substância capaz de reagir com oxigênio e liberar energia térmica. Uma substância, para ser usada como combustível, deve ser abundante na natureza, desprender calor suficiente na queima e apresentar um custo relativamente baixo.

O processo de produção dos combustíveis fósseis tem início com a extração do petróleo bruto (cru) dos poços reservatórios presentes nos subsolo, a grandes profundidades. O petróleo extraído tem características físico-químicas que dependem de cada poço e concentra, na sua essência, hidrocarbonetos de elevado peso molecular. Por isso, o petróleo não é usado diretamente como combustível automotivo, fazendo-se necessária a separação de seus componentes em proporções que garantam as características físico-químicas da gasolina, diesel, nafta, querosenes e asfalto, os quais constituem, entre outros, os principais derivados do cru. Para viabilizar a separação, o petróleo cru é transportado, utilizando-se meios apropriados (barcos, oleodutos, etc.), para as refinarias com o objetivo de dar procedimento ao fracionamento em colunas de destilação. Os produtos de grande valor agregado obtidos na primeira etapa são comercializados e os produtos residuais, que concentram hidrocarbonetos pesados acumulados na base da coluna de destilação, passam pelo processo de craqueamento catalítico com o objetivo de reduzir o tamanho das moléculas e proceder, na seqüência, novo fracionamento para a recuperação dos componentes leves, produzindo-se, desta forma, novas frações de seus derivados de petróleo (TOSSELO, 1980).

O nível de consumo de petróleo per capita de um país é determinado em primeiro lugar em função da possibilidade de competir em preço com outras fontes de energia básica, tais como o carvão, gás natural, hidreletricidade e energia nuclear. O segundo fator determinante é o grau de desenvolvimento econômico que o país possui, medido em índices de industrialização, incluindo instalações de transporte que, de um modo geral, determina o nível geral de utilização de energia dentro do país (ODELL, 1966).

Antes da segunda guerra mundial, os Estados Unidos eram responsáveis por dois terços do refino de petróleo mundial e no início dos anos 60 já existiam refinarias em mais de 70 países. A rápida proliferação de indústrias de refino de petróleo se deu principalmente pela questão logística e, em 1962, o refino de petróleo americano caiu para menos de um terço. Com isso, as refinarias de petróleo se tornaram mais próximas dos consumidores, aumentando

consideravelmente o número de postos de combustíveis espalhados pelo mundo (ODELL, 1966).

No Brasil existem aproximadamente 35.000 postos de combustíveis. Em 2007, a venda de álcool, gasolina e diesel nas distribuidoras brasileiras foi de 10, 24 e 41 milhões de litros, respectivamente (PETROBRÁS, 2008).

### **2.1.1 Outros Combustíveis Fósseis**

#### **Diesel**

A qualidade do Diesel, conforme Meher e Bressler (2007), pode ser avaliada medindo-se vários parâmetros relacionados com o manuseio/estocagem, segurança, ignição/combustão e performance do motor de acordo com a ASTM D 975-04c de 2005.

Conforme dados da distribuidora da Petrobrás, o óleo Diesel ou gasóleo é um derivado da destilação do petróleo bruto usado como combustível em motores específicos. Sua composição básica consiste principalmente em carbono, hidrogênio e baixas concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio. Produto pouco inflamável, mediamente tóxico, pouco volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico, recebeu este nome em homenagem ao engenheiro alemão Rudolph Diesel. Sua mistura com ar produz uma forte explosão quando comprimida e utilizada para gerar energia e movimentar máquinas e motores de grande porte empregados nas mais diversas aplicações, tais como em automóveis de passeio, furgões, navios locomotivas, embarcações marítimas, caminhões, ônibus e motores estacionários (geradores). O Diesel pode ser subdividido em Diesel comum e Diesel aditivado (Tabela 1). O Diesel comum é mais simples, não recebe qualquer aditivo e possui uma coloração laranja ou amarelada, podendo ser comercializado de duas formas: diesel marítimo e o diesel automotivo (PETROBRÁS, 2008).

Tabela 1: Formas de comercialização e tipos de Diesel

Tipo de Diesel	Coloração	Enxofre (ppm) máximo	Ponto de fulgor (°C) mínimo	Comercializado nas versões:	
<b>Interior</b>	Vermelho	2000	38	100% fóssil	Comum ou aditivado
				Com biodiesel 2%	Comum ou aditivado
<b>Metropolitano</b>	Amarelada ou alaranjada	500		100% fóssil	Comum ou aditivado
				Com biodiesel 2%	Comum ou aditivado
<b>Petrobrás Diesel inverno</b>		500	38	Comum	Aditivado
<b>Diesel marítimo</b>		10000	60		

Fonte: Adaptado da Petrobrás (2008).

O Diesel do tipo Petrobrás Diesel de inverno, foi desenvolvido para alcançar o grau de desempenho necessário para operar nas regiões com temperaturas de até  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Os tipos de Diesel comercializados são classificados conforme sua aplicação de acordo com as seguintes categorias (PETROBRÁS, 2008):

**a) Interior:** Diesel disponível para uso em todas as regiões do país, exceto para as principais regiões metropolitanas definidas pelo Ministério do Meio Ambiente onde é obrigatório o uso do derivado com baixo teor de enxofre. Esse óleo possui um teor de enxofre de 2000 ppm (no máximo) e tem coloração vermelha obtida por adição de corante, conforme determina a legislação atual;

**b) Metropolitano:** Diesel disponibilizado para uso nas regiões metropolitanas previamente definidos pelo Ministério do Meio Ambiente. Esse óleo possui um menor teor de enxofre (500 ppm) e é utilizado nas regiões com as maiores frotas em circulação e condições climáticas adversas à dispersão dos gases resultantes da combustão do óleo Diesel, os quais demandam um maior controle das emissões. Para as demais regiões do país é utilizado o óleo Diesel interior;

**c) Inverno:** Diesel criado para temperaturas abaixo de zero, impedindo o entupimento dos filtros de motores a Diesel em temperaturas muito baixas e dispensando misturas de produtos anticongelantes. Esse produto é comercializado durante o inverno na região sul do país e possui uma boa característica de fluidez mesmo em baixas temperaturas (até  $-5^{\circ}\text{C}$ );

**d) Marítimo comercial:** Diesel destinado às embarcações marítimas. Difere do óleo Diesel automotivo comercial no que se refere à necessidade de se especificar a característica de ponto de fulgor a fim de assegurar a maior segurança deste produto em embarcações

marítimas. Como ponto de fulgor entende-se a menor temperatura em que o óleo Diesel vaporiza em quantidade suficiente para formar, com o ar, uma mistura explosiva capaz de se inflamar momentaneamente quando sobre ela se incidir uma chama (fonte de ignição). Para o óleo Diesel marítimo, o ponto de fulgor é fixado num mínimo de 60°C;

**e) Marítimo especial para a marinha:** Diesel que atende às necessidades militares e apresenta maior rigidez quanto às características de ignição, de volatilidade, de escoamento a baixas temperaturas e de teor de enxofre. Isso se deve às condições adversas de sua utilização em embarcações militares, tais como a necessidade de rapidez e desempenho em regiões de baixas temperaturas (Oceano Ártico).

**e) Extra Diesel aditivado:** Difere do óleo Diesel comum pela presença de aditivos, tais como detergentes/dispersantes (para manter o motor limpo), antiespumantes (para evitar a formação de espuma durante o abastecimento), anticorrosivos (para evitar a formação de ferrugem) e desinulsificante (para ajudar na separação de água e óleo diesel). Pode ser utilizado em qualquer veículo movido a óleo Diesel e possui coloração amarelada ou alaranjada. A utilização continuada deste combustível garante uma pulverização mais eficaz do combustível na câmara de combustão, permite uma mistura mais homogênea do combustível com o ar, melhora o rendimento do motor, evita o desperdício do óleo Diesel, reduz as taxas de emissões; contribui para melhoria da qualidade do ar, reduz a frequência de manutenção dos componentes do sistema de alimentação e aumenta a vida útil do motor. Em contra partida, seu preço é mais significativo.

A produção do óleo Diesel é feita a partir do refino do petróleo por processo inicial de destilação atmosférica, a fim de obter-se, entre outras, as frações de óleo Diesel leve e pesado, básicas para a produção do Diesel. A elas podem ser agregadas outras frações como o querosene, a nafta e o gasóleo leve de vácuo, o que resulta no produto conhecido como óleo Diesel. A incorporação destas frações depende da demanda global de derivados de petróleo no mercado consumidor (VLASSOV, 2001).

## **Querosene**

Produto incolor e menos volátil que a gasolina, o querosene possui densidade compreendida entre 0,79 e 0,83 g/cm<sup>3</sup>, a uma temperatura de 60°F (15,5°C), e é obtido da destilação do petróleo, subdividindo-se comercialmente em dois grupos: o superior-cor branca-tipo A e o inferior-cor amarelada-tipo B. Seu ponto de inflamação ocorre a uma temperatura de 115°F (46°C) e sua composição básica é C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> e o C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>. A taxa de

compressão do motor a querosene é de 4,2:1, o que representa a relação entre o volume total do cilindro e o volume da câmara de combustão. Nos motores de ciclo Otto, a taxa varia entre 6:1 e 12:1 e em motores de ciclo Diesel entre 18:1 e 23:1. O querosene é muito utilizado na aviação (turbinas de aviões e jatos) e para a iluminação em áreas rurais que utilizam lampiões (TOSELLO, 1980).

### **Propano**

O propano é líquido a uma pressão de 250 PSI (*Pound per Square Inch*), ou seja, mais ou menos  $17 \text{ kg/cm}^2$ , sendo utilizado em motores com índice de octano de 125, motores de alta compressão 8,8:1 e podendo ser armazenado em reservatórios (TOSELLO, 1980).

### **Butano**

O butano comercial possui 20% de propano, 80% de butano e é usado em veículos como substituto da gasolina, apresentando um elevado poder anti-detonante que trabalha com taxas de compressão de 10:1 (TOSELLO, 1980).

### **Óleos combustíveis**

Geralmente são extraídos depois das frações mais voláteis, gasolina e querosene. São bastante diversificados e os motores de combustão interna utilizam-nos na faixa de densidades de  $0,82 \text{ g/cm}^3$  até  $0,95 \text{ g/cm}^3$ . Motores de alta performance utilizam óleos combustíveis com densidades de  $0,82$  até  $0,87 \text{ g/cm}^3$ . Esses óleos possuem, em geral, 13% de hidrogênio com peso molecular aparente da ordem de 215 a 225 g/mol. Entre os óleos combustíveis assim classificados, destaca-se o óleo Diesel. Para motores que utilizam bico injetor, não é recomendado óleos com viscosidade inferior a 35 SSU e superior a 100 SSU com temperatura de  $122^\circ\text{F}$  ( $50^\circ\text{C}$ ). Óleos desse tipo possuem um ponto de inflamação acima de  $65,5^\circ\text{C}$  (TOSELLO, 1980).

### **Outros óleos combustíveis**

Os óleos com densidade superior a  $0,95 \text{ g/cm}^3$  são usados para geração de energia térmica em fornalhas. Em geral, são muito viscosos e, quando aquecidos acima de  $83^\circ\text{C}$ ,

tornam-se mais fluidos e podem ser utilizados em motores a diesel com injeção eletrônica. O óleo obtido a partir do xisto betuminoso, de carvão e da coqueira, pode também ser utilizados em motores de injeção (PETROBRÁS, 2005).

### 2.1.2 Gasolina

Tosselo (1980) considerou a gasolina como o mais importante combustível líquido empregado em motores de combustão interna e Meher e Bressler. (2007), a considerou como o combustível de maior presença em motores veiculares. Ela pode ser obtida por diferentes processos, tais como a destilação do petróleo cru, o craqueamento do óleo residual, a polimerização dos gases do craqueamento (gasolina com alto número de octana), a extração do gás natural, a destilação e absorção, a extração do gás natural por compressão e resfriamento e por hidrogenação do carvão (gasolina sintética) (BARSA (c), 2002). A gasolina comercial obtida a partir de qualquer destes métodos é a mistura de 3 principais séries de hidrocarbonetos: 10 a 80% da série parafínica, 15 a 85% da série nafteno e 4 a 40% da série aromática. Entretanto, para simplificação, utiliza-se a fórmula geral  $C_8H_{16}$  (octano) como o componente regular médio. O seu peso molecular é de 114 g/mol e contém 15,8% de hidrogênio, ambos muito próximos aos da gasolina comercial (113 g/mol e 15,5% de hidrogênio). A massa específica da gasolina varia entre 0,718 e 0,775 g/mL, conforme dados do Instituto Americano de Petróleo (API). Para a densidade de 0,716 g/mL, obtida a 15°C, o poder calorífico da gasolina é de 11.157 calorias (BEIRES, 1962). A gasolina para automóveis tem ponto de ebulição entre 30 e 200°C (BARSA (c), 2002) e o teor de álcool etílico anidro combustível na gasolina conforme Resolução nº 37 do Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool de 27 de junho de 2007 é de 25% (PETROBRÁS, 2008). A queda de temperatura ocasionada pelo calor latente de evaporação que absorve o calor do ar afeta consideravelmente o desempenho da gasolina nos motores de combustão interna. A gasolina também é considerada um dos fluidos mais comuns e faz parte da categoria de fluidos newtonianos juntamente com o ar e a água em condições ambientes (FOX, 1998). Um cuidado especial com combustíveis líquidos, particularmente com a gasolina, deve existir em casos de derramamento, pois ocasiona a contaminação dos aquíferos. Por ser pouco solúvel em água, a gasolina derramada, contendo mais de uma centena de componentes, inicialmente pode se fazer presente no subsolo como líquido orgânico. O tolueno, benzeno, etilbenzeno, enxofre e xileno, são os contaminantes que

atingem com maior intensidade os lençóis freáticos. Estes componentes são considerados substâncias perigosas por afetarem o sistema nervoso e causarem leucemia em exposições prolongadas. Segundo o Ministério da Saúde, o mais tóxico dentre eles é o benzeno, com padrão de potabilidade de 10µg/L (CONSEUIL, 1997).

Como o Diesel, a qualidade da gasolina pode ser também avaliada com os métodos descritos pela ASTM. A qualidade de ignição da gasolina é medida primeiramente pelo número de octanas ou octanagem (MEHER e BRESSLER, 2007). É necessário que a gasolina resista à compressão dentro do cilindro para que a combustão ocorra somente com as faíscas da vela e não por simples compressão. O isoctano apresenta maior resistência à combustão por compressão, enquanto o heptano explode mais facilmente quando comprimido. Assim, criou-se uma escala em que a gasolina teria o mesmo comportamento do isoctano puro. A esse sistema atribuiu-se um índice de octanagem ou Índice Antidetonante (IAD) cem. Por outro lado, para a gasolina de baixa qualidade, com comportamento idêntico ao do heptano puro, atribuiu-se um IAD igual a zero. No Brasil, a gasolina comum (Gasolina C) possui índice de octanagem próxima do 85 e a Gasolina Podium próxima do 95, o que não implica na composição da gasolina, mas é um parâmetro de comportamento em relação à combustão no motor (PETROBRÁS, 2008).

Estudos efetuados por Demirbas (2004) relatam a possibilidade do reaproveitamento dos resíduos plásticos domésticos e industriais para a produção de gasolina e óleo pesado por pirólise. Do ponto de vista ecológico, essa é uma alternativa vantajosa para a redução da disposição dos plásticos em aterros sanitários. As desvantagens desse tipo de produção são o alto custo e a heterogeneidade dos materiais oriundos dos resíduos sólidos municipais.

## 2.2 BIOCOMBUSTÍVEIS

Com a crise do Petróleo nos anos 70, buscou-se desenvolver fontes alternativas de energia que resultaram na criação do programa nacional do álcool, o Pró-Álcool, nos anos 80, além de outros programas de incentivo ao uso de combustíveis alternativos, tais como: biogás, gás natural, óleo vegetal, gasogênio e outros (OMETTO, 1988).

Com o elevado custo do barril de petróleo, os combustíveis alternativos tornaram-se competitivos do ponto de vista econômico, principalmente com a perspectiva da escassez das reservas de petróleo, a qual clama pela implementação de novas tecnologias e infra-estrutura para suprir a demanda de energia (BIODIESELBR, 2008).

O aproveitamento da biomassa como forma de energia vem sendo avaliada desde o Plano de Ação da Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992, que estabeleceu a substituição de 20% das fontes energéticas não renováveis por fontes renováveis até 2000 e 50% até 2020. Analisando a partir desse prisma, percebe-se que os biocombustíveis (oriundos da biomassa) têm sido propostos para atender a demanda mundial e estão tornando-se uma alternativa para o desenvolvimento sustentável (ROSSILLO-CALLE et al., 2005).

Biocombustíveis são combustíveis em estado líquido ou gasoso, produzidos a partir de biomassa para a geração de calor (VLASSOV, 2001). O Brasil detém a tecnologia de produção do etanol, baseado na fermentação do caldo de cana e sua conseqüente conversão em álcool etílico (OMETTO, 1988). É um processo que tem recebido incentivo constante do Governo Federal, dada a responsabilidade ambiental deste órgão perante a sociedade e o mundo. Para a ampliação da sua matriz energética, no Brasil, produz-se biodiesel a partir do óleo de soja e outras matérias-primas alternativas, as quais têm sido investigadas a fim de ampliar as fontes deste biocombustível (com destaque para a gordura animal ou vegetal). Nos Estados Unidos produz-se etanol, em estágio incipiente, a partir dos grãos de milho (DEMIRBAS, 2007).

O aproveitamento do resíduo gorduroso proveniente de cozinhas domésticas e industriais como biocombustível tem sido também explorado, pois proporciona uma série de benefícios, incluindo a redução dos impactos ambientais, redução da área de disposição final do resíduo, geração de novos postos de trabalho, geração de renda e desenvolvimento de novas tecnologias (BARROS e MEIER, 2008).

Para Marchetti et al. (2005), basicamente, os óleos utilizados nas cozinhas industriais e domésticas são de origem vegetal e animal, sendo que os mais comuns são de soja, milho, mamona, girassol, amendoim, algodão, palma e gergelim; e os de animais são de sebos bovinos, óleos de peixes, óleos de aves e óleos de suínos.

Neste contexto, têm sido desenvolvidos diversos biocombustíveis que buscam minimizar o uso de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, as taxas de emissões gasosas.

Entre os biocombustíveis destacam-se aqueles oriundos do craqueamento térmico (biogasolina, bioóleo e “*green*”diesel) e aqueles obtidos por transesterificação e esterificação (biodiesel) (BARROS et al., 2008).

### 2.2.1 Outros Biocombustíveis

#### a) Biodiesel

O biodiesel foi definido pela NBB (*Nacional Biodiesel Board*) como combustível composto de mono-alquil-éster de cadeia longa de ácidos graxos, derivado de óleos vegetais ou gorduras animais, designado B100, que satisfaz os requisitos da norma ASTM D6751/2002.

Quimicamente, o biodiesel é um mono alquil éster de ácidos graxos de cadeia longa que pode ser usado em motores diesel com pouca ou nenhuma alteração mecânica (RAMADHAS et al., 2004; ZHENG et al.; 2007).

Na legislação brasileira, Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005, o biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores de combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) tem sua própria definição que é utilizada para todos os efeitos legais e controle de qualidade, como combustível composto de alqui-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, conforme a especificação contida no Regulamento Técnico nº 4/2004, parte integrante desta Resolução (ANP, 2008).

O biodiesel pode ser produzido a partir de óleos vegetais envolvendo a reação de transesterificação, podendo ser obtido a partir do óleo de girassol, amendoim, algodão, soja, mamona, entre outros, e de origem animal, com destaque para os óleos de frango saturados. O óleo vegetal é um triglicerídeo, ou seja, um triéster derivado da glicerina. A transesterificação ocorre na presença de um catalisador básico, ou mesmo ácido, com triglicerídeos na presença de etanol ou metanol, formando três moléculas de ésteres metílicos ou etílicos dos ácidos graxos e liberando o glicerol (glicerina) (BIODIESELBR, 2008), conforme Figura 1.

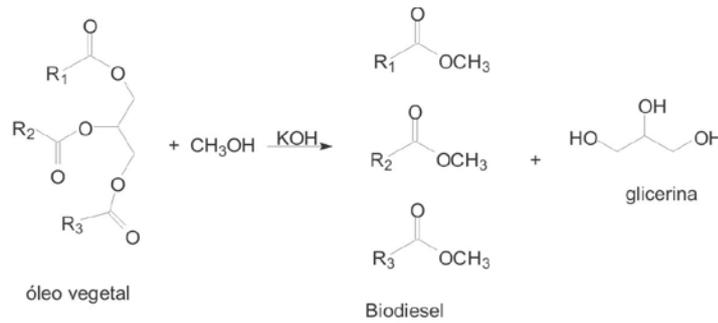


Figura 1: Formação do biodiesel

Fonte: Adaptado Biodieselbr (2008).

Os primeiros estudos com o biodiesel começaram, segundo Petersson e Reece (1996), em 1979, utilizando óleo de colza como combustível alternativo. A partir dessa data, muitos estudos foram realizados nesta área com diferentes tipos de óleos vegetais puros ou misturados com óleo diesel. O biodiesel não contém petróleo, mas pode ser adicionado a ele formando composições capazes de melhorar o desempenho dos motores de combustão interna. Pode ser utilizado em um motor de ignição por compressão (diesel) sem necessidade de qualquer modificação mecânica no motor. O biodiesel é biodegradável, não tóxico, e essencialmente livre de compostos sulfurados e aromáticos (BIOBIESELBR, 2008).

Os biocombustíveis semelhantes ao diesel de petróleo podem ser fabricados, conforme Ma e Hanna (1999), através de quatro diferentes metodologias: a) uso direto ou misturas de óleos vegetais; b) microemulsões; c) reação de esterificação/transesterificação; e d) processo de craqueamento térmico (pirólise).

A produção de biodiesel deve atender as especificações técnicas internacionalmente definidas pela ASTM D6751. Nos Estados Unidos, o biodiesel é o único combustível alternativo a obter completa aprovação no *Clear Air Act* de 1990 e a ser autorizado pela Agência Ambiental Americana (EPA) para venda e distribuição (BIOBIESELBR, 2008).

Em nível internacional, se adota uma nomenclatura bastante apropriada para identificar a concentração do Biodiesel na mistura, sendo esta BXX, onde XX é a porcentagem em volume do Biodiesel na mistura (por exemplo, o B2, B5, B20 e B100 são combustíveis com 2%, 5%, 20% e 100% de biodiesel, respectivamente).

Atualmente, o diesel comercializado no Brasil contém 2% de biodiesel e 98% de diesel (B2), conforme a Resolução ANP n° 42 de 24 de novembro de 2004. O biodiesel só pode ser utilizado em motores a diesel, portanto este combustível é um substituto do diesel (ANP, 2008).

O REGULAMENTO TÉCNICO N°. 4/2004 aplica-se ao biodiesel B100, de origem nacional ou importada, a ser comercializado em território nacional e adicionado na proporção de 2% em volume ao óleo diesel conforme a especificação em vigor. A determinação das características do biodiesel é feita mediante o emprego das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), das normas internacionais “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM), da “*International Organization for Standardization*” (ISO) e do “*Comité Européen de Normalisation*” (CEN). Os dados de incerteza, repetitividade e reprodutibilidade, fornecidos nos métodos relacionados no Regulamento, devem ser usados somente como guia para aceitação das determinações em duplicata do ensaio e não devem ser considerados como tolerância aplicada aos limites especificados no Regulamento. A análise do produto deve ser realizada em uma amostra representativa do mesmo, obtida segundo métodos ABNT NBR 14883 - Petróleo e produtos de petróleo - Amostragem manual ou ASTM D 4057 - Prática para Amostragem de Petróleo e Produtos Líquidos de Petróleo (*Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products*) ou ISO 5555 (*Animal and vegetable fats and oils – Sampling*) (ANP, 2008).

#### b) Álcool

O programa Nacional do Álcool, ou PROÁLCOOL, foi criado em 14 de novembro de 1975 pelo decreto nº 76.593, com o objetivo de estimular a produção do álcool e visando o atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos. Produzir álcool a partir da cana-de-açúcar e da mandioca é uma proposta política e econômica, envolvendo investimentos adicionais. A decisão foi tomada pelo Governo Federal para encorajar a produção de álcool em substituição à gasolina pura, com o intuito de minimizar a importação de petróleo. O programa foi bem sucedido, evitando o aumento da dependência externa de divisas quanto às oscilações do mercado do petróleo. Entre 1975 e 2000, o Brasil produziu 5,6 milhões de automóveis movidos a álcool hidratado<sup>1</sup> Sua fase áurea foi nos anos 80, quando chegou a ser utilizado em 96% dos carros em circulação no país. O desestímulo à compra de carros a álcool, entretanto, começou com a ameaça de falta do combustível no mercado. Muitas vezes, as usinas priorizavam a produção de açúcar por causa dos preços atraentes no mercado internacional, em detrimento da fabricação do combustível. Em 1997 e 1998, a indústria de automóveis registrou o menor

---

<sup>1</sup> Mistura de álcool anidro com água, com teor de 7% em média de água.

índice de produção, que foi de mil unidades/ano, o que representou 0,1% no total de veículos fabricados no Brasil. Atualmente, segundo a Anfavea, a produção é de 3.271 carros a álcool por mês, o que representa 3% da produção nacional (ANFAVEA, 2008). Acrescido a isso, o programa substituiu uma fração de álcool anidro de 1,1% a 25%, num volume de gasolina pura consumida por uma frota superior a 10 milhões de veículos à gasolina. Nesse período, não foram emitidos para a atmosfera aproximadamente 110 milhões de toneladas de carbono (contido no CO<sub>2</sub>), diminuindo-se a importação em aproximadamente 550 milhões de barris de petróleo, além de proporcionar uma economia de divisas na ordem de 11,5 bilhões de dólares (BIODIESELECOOLEO, 2008).

Até 2010, o setor deve atender uma demanda adicional de 10 bilhões de litros de álcool, além de 7 milhões de toneladas de açúcar. Para incrementar essa produção, será preciso aumentar a produção de cana em 180 milhões de toneladas, resultando em uma expansão dos canaviais estimada em 2,5 milhões de hectares. Esses investimentos deverão criar 360 mil novos empregos diretos e 900 mil indiretos (BIODIESELBR, 2008).

### **2.2.2 Biogasolina**

A pirólise ou craqueamento térmico é uma das quatro alternativas da produção de biocombustíveis (MA e HANNA, 1999). Para a obtenção de biocombustíveis, o processo de pirólise ou craqueamento térmico é a mais importante técnica de conversão térmica de biomassa (DEMIRBAS, 2007). Nele, frações com moléculas grandes sofrem rupturas por aquecimento e originam moléculas menores (LEMBO, 1999). O principal produto obtido a partir do craqueamento térmico de biomassa a base de materiais lignocelulósicos é o bioóleo, o qual é formado por centenas de compostos de vários grupos químicos (ROSILLO-CALLE et al., 2005 apud WIGGERS, 2007).

No processo pirolítico, pode-se utilizar biomassa residual como matéria prima, tanto aquelas constituídas a base de compostos lignocelulósicos, quanto as de triglicérides, para gerar duas frações: uma líquida e uma gasosa. A fração gasosa é chamada de bio-gás e é composta por dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, hidrogênio e outros gases que dependem do material processado. A fração líquida é chamada de bioóleo ou ecodiesel e é composta principalmente por ácido acético, acetona, metanol, hidrocarbonetos, aldeídos, álcoois e ácidos orgânicos.

São denominados bio-gás os produtos do craqueamento térmico não condensáveis (WIGGERS, 2007). O bio-gás pode também ser obtido a partir da fermentação de matérias orgânicas ou substâncias orgânicas encontradas na natureza, tais como excrementos de animais e resíduos orgânicos domésticos. Estes produtos são inseridos nos biodigestores, onde são fermentados para produção de bio-gás. O biogás pode ser utilizado para automóveis ou consumo doméstico, ou, ainda, para a produção de eletricidade e energia térmica (UCZAI, 2007).

Por sua vez, o bioóleo ou ecodiesel, a fração líquida, possui características e potencialidade de substituir óleos combustíveis, diesel e gasolina de origem fóssil (WIGGERS, 2007). O bioóleo pode ser fracionado para se obter a biogasolina e o “green” diesel.

Wiggers (2007) desenvolveu estudos para a produção de biogasolina, os quais utilizaram um reator pirolítico de dois metros de altura, operado em regime contínuo, para obter produtos do craqueamento térmico que resultaram na biogasolina com características similares aos da gasolina. As análises físico-químicas dos produtos mostraram a viabilidade de substituição da gasolina pela biogasolina uma vez que suas características e poder calorífico superior são similares.

O “green” diesel, subproduto do bioóleo, foi investigado por Fortes e Baugh (2004) através da pirólise do óleo da fruta de Macaúba, em diferentes condições de operação, usando um filamento pirolítico ligado a um cromatógrafo. Foram detectados mais de 30 compostos formados basicamente por álcoois, alcenos, alcadienos, ácidos carboxílicos e aldeídos. O trabalho, desenvolvido por Wiggers (2007), descreveu as curvas de destilação deste biocombustível e mostrou a sua similaridade com o diesel, tanto na relação entre as características físico-químicas, como no seu poder calorífico superior. Na descrição das curvas de destilação dos dois combustíveis, observou-se sobreposição das frações volumétricas, o que mostra a similaridade entre ambos.

Estudos realizados por Tamunaidu e Bhatia (2007), no Instituto de Pesquisas da Malásia (PORIN), descreveram a produção de biogasolina por craqueamento térmico a partir de óleo de palma cru (usado nas cozinhas domésticas na preparação de alimentos), rico em ácido palmítico. Esses estudos determinaram que as melhores condições de operação eram aquelas onde o reator operava na faixa de temperaturas entre 400 e 500°C, com a presença de um catalisador e com tempo de residência de 20 segundos.

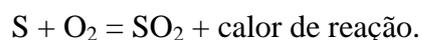
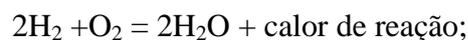
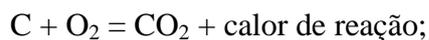
Conforme Lu et al. (2007), a pirólise catalítica da biomassa pode ser dividida em dois processos: de decomposição das partículas da biomassa no interior dos vapores

orgânicos, usualmente compostos oxigenados, e do craqueamento catalítico que melhora o produto pirolítico para a produção adequada dos componentes da gasolina, preferencialmente, iso-alcanos e aromáticos. A efetividade do catalisador está na capacidade de remover compostos oxigenados e produzir alto número de octanagem nos compostos da gasolina

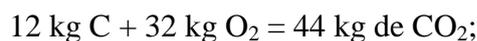
### 2.3 COMBUSTÃO DE COMBUSTÍVEIS E BIOCUMBUSTÍVEIS

Combustão é uma reação química na qual uma substância reage com o oxigênio e libera grandes quantidades de energia térmica. A reação química referenciada é de oxidação e ocorre em grande velocidade. O fenômeno é gasoso, pois, as substâncias (sólidas, líquidas ou gasosas) vaporizam-se em sua maioria para garantir a combustão. Podem formar resíduos sólidos ou líquidos no final do processo de combustão quando o fenômeno da combustão não ocorre de maneira completa (TOSSELO, 1980).

A combustão de combustíveis pode ser completa ou incompleta. A combustão completa ocorre quando há oxigênio do ar em quantidade suficiente para a oxidação completa de todos os elementos combustíveis do combustível. No processo de combustão na câmara de combustão, os elementos químicos combustíveis do combustível (carbono, hidrogênio e enxofre) reagem como o oxigênio do ar, formando os produtos de combustão completa segundo as reações químicas escritas em moles (VLASSOV, 2001):



As mesmas reações escritas em quilogramas de reagentes (balanço de massas):



Portanto, se houver ar estequiométricamente necessário em uma combustão, esta será completa e nos produtos de combustão ter-se-á somente CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), H<sub>2</sub>O (vapor de água), SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre) e o N<sub>2</sub> (nitrogênio) do ar, que é considerado gás

inerte e não participa das reações químicas. Se houver ar em excesso na câmara de combustão, os produtos de combustão irão conter O<sub>2</sub> (oxigênio). Se houver uma quantidade insuficiente de ar na câmara de combustão, a combustão será incompleta. Como o hidrogênio e o enxofre são elementos mais ativos que o carbono, a falta de oxigênio na reação de queima implica no aparecimento do CO (monóxido de carbono), devido a seguinte reação (VLASSOV, 2001):



O monóxido de carbono é um gás combustível, pois, ao reagir com o oxigênio do ar, pode liberar calor. No entanto, no caso de combustão incompleta, o aproveitamento do combustível e o rendimento do motor de combustão interna podem diminuir (BAZZO, 1995).

O fenômeno da combustão é influenciado diretamente pela concentração, suprimento de ar, mistura ar/combustível, compatibilidade das temperaturas e tempo de combustão (BAZZO, 1995). Se a concentração aumenta, a aceleração do fenômeno também aumenta, podendo também ser acelerada se a pressão reacional for elevada. Com o aumento da temperatura pode-se atingir o ponto de inflamação, acima do qual o fenômeno se desenvolve com maior rapidez. A presença de CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e carvão na forma de fuligem é caracterizada pela combustão incompleta que ocorre dada a deficiência de oxigênio no ar.

A presença de carbono, na forma de fuligem (pó de carvão), surge quando ocorre sua precipitação em contato com paredes frias. Quando o fenômeno da combustão se desenvolve em altíssima velocidade, ocorre uma onda de compressão dos gases que se propagam em grande velocidade, com aumento de temperatura e acompanhado de inflamação. A velocidade da detonação gira em torno de 2800 m/s (mais de 8 vezes a velocidade do som). A temperatura da detonação depende diretamente da composição do combustível e das condições ambientes de detonação (BAZZO, 1995).

A potência calorífica é definida como o calor despendido no fenômeno da combustão, quando este ocorre completamente nas CNTP (Condições Normais de Temperatura e Pressão) até que os produtos da combustão retornem à temperatura inicial (0°C). O poder calorífico superior e inferior dependem do estado da água existente nos produtos da combustão. Se esta se encontra no estado gasoso (vapor), o poder calorífico é inferior. Quando a água se encontra toda no estado líquido, o poder calorífico é superior. A diferença entre os dois pontos, inferior e superior, está relacionada ao calor de vaporização. A temperatura de combustão depende do poder calorífico do combustível, da quantidade do comburente (ar) e da temperatura inicial do processo (TOSSELO, 1980). Todo combustível

tem uma temperatura de inflamação determinada, ou seja, temperatura em que a vaporização se dá em proporção suficiente para o combustível inflamar-se e manter a queima contínua. Essa temperatura é alcançada através do fornecimento de uma energia inicial que aquece, elevando sua temperatura até a temperatura de inflamação. Assim, a combustão se inicia de modo endotérmico e prossegue desenvolvendo calor (PETROBRÁS, 2005). A Tabela 2 mostra a temperatura de inflamação de alguns combustíveis conforme Tosselo (1980) e NGVC (2008).

Tabela 2: Temperatura de inflamação de alguns combustíveis

<b>Combustível</b>	<b>Temp. (°C)</b>
Acetileno	525
Álcool	350
Benzina	415
Benzol	570
Biodiesel	150
Diesel	230
Etano	520/630
Etileno	545
Gasolina	300
Gás natural	230
Hidrogênio	585
Metano	650/750
Monóxido de carbono	650

Fonte: Adaptado de Tosselo (1980) e NGVC (2008).

A Tabela 3 descreve a potência calorífica de alguns combustíveis nos estados gasosos e líquidos.

Tabela 3: Potência Calorífica

<b>Gases</b>	<b>kcal/m<sup>3</sup> (inferior)</b>	<b>Líquidos</b>	<b>kcal/kg (inferior)</b>
Monóxido de carbono	2,855	Álcool anidro	6,4
Hidrogênio	2,41	Benzol puro	9,59
Metano	8,005	Toluol	9,69
Etano	14,17	Xilol	9,74
Propano	20,23	Naftalina	9,3
Butano	26,4	Tetralina	9,75
Etileno	13,52	Pentano	10,85
Propileno	19,47	Hexano	10,67
Butileno	25,32	Heptano	10,66
Acetileno	12,55	Octano	10,65

Fonte: Tosselo (1980).

Conforme Heywood (1988), os motores normalmente queimam combustível com ar. O ar seco é a mistura gasosa representada volumetricamente por 20,95% de oxigênio, 78,09%

de nitrogênio, 0,93% de argônio e traços de alguns gases como o neônio, hélio, argônio, dióxido de carbono, metano, entre outros. A Tabela 4 mostra a proporção relativa das moléculas existente no ar seco e seus principais constituintes.

Tabela 4: Principais constituintes do ar seco

<b>Componente</b>	<b>Teor (m<sup>3</sup>)</b>
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	780,9 litros
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	209,5 litros
Argônio (Ar)	9,3 litros
Gás carbônico (CO <sub>2</sub> )	350 mililitros
Neônio (Ne)	18 mililitros
Hélio (He)	5,2 mililitros
Criptônio (Cr)	1,1 mililitro
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	0,53 mililitro
Xenônio (Xe)	0,086 mililitro

Fonte: Tolentino e Rocha-Filho (1995).

## 2.4 EMISSÕES GASOSAS DECORRENTES DA COMBUSTÃO DE COMBUSTÍVEIS E BIOCUMBUSTÍVEIS

De acordo com Cardone et al., (2002), os veículos automotores de ciclo Otto são fontes relevantes de emissão evaporativa de combustível e responsável por uma parcela da poluição atmosférica, contribuindo significativamente com a deteriorização da qualidade ambiental, especialmente em centros urbanos.

### 2.4.1 Substâncias Poluentes

Substância poluente é a introdução na atmosfera de qualquer matéria ou energia que venha a alterar as propriedades dessa atmosfera. Quando ocorre a queima na câmara de combustão no interior dos motores de combustão, os gases são exauridos. Estes gases são oriundos da reação química que ocorre no interior do pistão logo após a centelha. Algumas das substâncias, formadas no interior do escapamento após a combustão, são indezajáveis e afetam a saúde e a qualidade de vida da sociedade (BAZZO, 1995).

As principais substâncias responsáveis pela poluição do ar podem ser classificadas da seguinte forma, conforme Monteiro (1998):

- a) Compostos de enxofre ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , Sulfatos);
- b) Compostos nitrogenados ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}_3$ , Nitratos);
- c) Compostos Orgânicos de Carbono (Hidrocarbonetos (HC, HC), Álcoois, Aldeídos, Cetonas, ácidos Orgânicos);
- d) Monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ );
- e) Compostos Halogenados ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ , Cloretos, Fluoretos);
- f) Material Particulado – MP (mistura de compostos no estado sólido ou líquido).

Conforme CETESB (2007), a poluição do ar é medida pela qualificação e quantificação das substâncias poluentes nele presentes. A substância é considerada poluente quando, pela sua concentração, pode tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade.

Monteiro (1998) classifica os poluentes atmosféricos em duas categorias:

- a) **Poluentes Primários:** aqueles emitidos diretamente pela fonte de emissão;
- b) **Poluentes Secundários:** formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e constituintes naturais da atmosfera.

Gases tóxicos são aqueles que afetam a saúde humana (CORRÊA e ARBILLA, 2007). Os carcinógenos provocam câncer, mas podem levar anos para a manifestação da doença. Os teratogênicos rompem os filamentos do DNA do corpo e provocam mutações que produzem malformação congênita ou bebês natimortos. Entre as dezenas de milhares de substâncias tóxicas de longa duração que são espalhadas pelo planeta, somente algumas delas foram estudadas quanto ao seu potencial carcinogênico ou teratogênico (CALLENBACH, 2001).

#### **2.4.2 Principais substâncias poluidoras do ar e seus efeitos sobre a saúde humana**

O gás metano ( $\text{CH}_4$ ), provém do cultivo, mineração, lagos formados pelas hidrelétricas, aterros sanitários, criação de gado, sistemas de transporte entre outros. Anualmente, são emitidas naturalmente 185 milhões de toneladas de gás metano e duas vezes mais, cerca de 340 milhões de toneladas/ano, são emitidas antropicamente. A queima de

combustíveis fósseis são responsáveis pela emissão de 35 milhões de toneladas/ano de gás metano. A vida útil do  $\text{CH}_4$  na atmosfera é na ordem de 120 anos e o metano bloqueia mais radiação solar que o monóxido de carbono (MOUVIER, 1995).

Conforme Tolentino e Rocha-Filho (1995), outros hidrocarbonetos com moléculas maiores e estruturas mais complexas podem ser encontradas na atmosfera em função dos gases de escape em motores de explosão mal regulados, nos quais a combustão da gasolina ou do óleo diesel não é completa. As altas temperaturas reinantes no interior dos cilindros dos motores provocam o rompimento e recombinação das moléculas dos combustíveis derivados do petróleo, provocando irritação nos olhos, nariz, pele e aparelho respiratório (MONTEIRO, 1998). Este rompimento molecular difunde compostos dos mais variados tipos na atmosfera, principalmente hidrocarbonetos. Uma vez na atmosfera e sob ação fotoquímica da luz do sol, alguns derivados de hidrocarbonetos podem reagir com óxidos de nitrogênio, resultando em compostos do tipo nitratos de perácido. À medida que os motores queimam hidrocarbonetos de maior peso molecular, os produtos de escape podem apresentar produtos ricos em carbono não queimados, ocasionando o aparecimento de uma fumaça negra conhecida como fuligem e constituída principalmente por monóxido de carbono (CO) (TOLENTINO e ROCHA-FILHO, 1998).

O monóxido de carbono (CO) é produzido essencialmente a partir da oxidação dos hidrocarbonetos e da combustão de origem veicular, industrial, doméstica, agrícola e florestal (YANG et al., 2007). Estima-se que a natureza emite anualmente, para a atmosfera, 1010 milhões de toneladas de  $\text{CO}_{(g)}$  e que, antropicamente, são emitidos 1650 milhões de toneladas/ano. A queima incompleta de combustíveis fósseis em motores de explosão é responsável por uma produção significativa de CO, substância essa extremamente nociva. O monóxido de carbono no ar entra no ciclo bioquímico de nossa respiração, formando, com a hemoglobina, um composto irreversível: a carboxi-hemoglobina. Esse composto faz com que o sangue perca progressivamente a capacidade de transporte de oxigênio e dióxido de carbono, acarretando na perda progressiva de oxigenação dos tecidos e células, até a degradação e morte dessas estruturas vitais. Conforme Monteiro (1998), isso prejudica o desenvolvimento de fetos, causa tonturas, produz efeitos no sistema nervoso central, pulmonar, reduz os reflexos e a acuidade visual. A consequência é a perda da consciência e, em seguida, a morte (TOLENTINO e ROCHA-FILHO, 1995).

Conforme Helene et al. (1994), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é originário da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural), desflorestamento e erosão do solo. Sua permanência na atmosfera pode chegar a 120 anos e contribui, conforme Monteiro (1998), em

14% nas emissões antropogênicas globais. Para Ribeiro (1997), o dióxido de carbono é responsável por mais de 50% do efeito estufa.

O óxido de dinitrogênio ( $N_2O$ ) é um poluente emitido por atividades industriais, principalmente aquelas relacionadas com a produção de energia e pela queima de combustíveis fósseis (TOLENTINO e ROCHA-FILHO, 1995).

Os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), conforme Branco e Murgel (1995), são formados pelas reações de combustão em alta temperatura, geralmente em motores de combustão interna. Além dos transportes, essa substância é proveniente do desflorestamento de áreas convertidas em pastagens. As fontes de origem natural proporcionam três vezes menos gases do que as fontes antrópicas. Conforme Baines (1997), os óxidos de nitrogênio e os hidrocarbonetos (combustíveis não queimados) reagem com a luz do Sol para formar o ozônio, que se acumula junto ao solo, no *smog* oriundo dos escapamentos, produzindo, conforme Monteiro (1998), desconforto respiratório, diminuição da resistência à infecções, alterações celulares, irritação nos olhos e nos pulmões, danificando colheitas e corroendo materiais.

Os aldeídos passaram a ser introduzidos no ar atmosférico a partir da utilização do álcool hidratado carburante nos motores de explosão e da prática de adicionar álcool anidro à gasolina para melhorar seu desempenho. O aldeído mais comum nos gases de escapamento de motores é o formaldeído, caracterizado pelo seu odor, principalmente quando da partida do motor. Esses são responsáveis, conforme Monteiro (1998), por irritações nos olhos, nariz e garganta. Os aldeídos emitidos por veículos a diesel, a gasolina e a álcool podem provocar câncer (TOLENTINO, 1995).

Os compostos de enxofre ( $SO_x$ ) também constituem uma categoria importante de poluentes atmosféricos. Neste caso, as fontes naturais e as fontes antrópicas emitem aproximadamente a mesma quantidade de compostos de enxofre. Por um lado, as principais fontes naturais estão relacionadas a vulcões e oceanos, muito abundantes em todo o globo e correspondem a áreas nas quais as bactérias possibilitam a decomposição de material orgânico, liberando para a atmosfera  $SO_x$ , sulfureto de hidrogênio ( $H_2S$ ), compostos organossulfurados, compostos orgânicos a base de carbono, hidrogênio e enxofre. No âmbito lógico, o principal composto emitido é o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), proveniente da combustão de substâncias com enxofre em sua composição, tais como hulha (carvão de pedra), derivados de petróleo e biomassa vegetal. Tecnologias mais aprimoradas também procuram eliminar o enxofre do petróleo e seus derivados, evitando assim os danosos efeitos da liberação de gases ricos em dióxidos de enxofre. Para Branco e Murgel (1995), os compostos sulfurosos que

podem ser originados da queima de combustíveis fósseis, particularmente o  $\text{SO}_2$ , quando ativado ao absorver a radiação solar, transforma-se em  $\text{SO}_3$ , o qual por sua vez, em ambientes de alta umidade, forma o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ácido sulfúrico) que é fortemente corrosivo e ácido. A presença de teores elevados desse óxido na atmosfera pode provocar danos aos vegetais, aos animais e ao homem, assim como induzir, secundariamente, alterações de materiais diversos, interferindo até mesmo na sua transparência da atmosfera, causando diminuição da visibilidade. De acordo com Monteiro (1998), entre outros efeitos nocivos, em altas concentrações esse óxido causa inflamações graves da mucosa nas vias respiratórias, podendo até ser fatal. Ademais, aumenta a incidência de rinite, faringite e bronquite, afetando plantas e espécies mais sensíveis e causando acidificação do solo e corpos d'água (MOUVIER, 1995).

Os materiais particulados (MP) são assim chamados, conforme Branco e Murgel (1995), por serem produtos da emissão não gasosa. Eles podem ter diversas origens, porém a fonte mais elementar é a suspensão de poeira por ação do vento ou do tráfego de veículos em vias não pavimentadas. A queima de combustíveis, como óleo e carvão, também produz grandes volumes de partículas de carbono, que podem ou não carregar outros elementos, tais como hidrocarbonetos e metais. Gotículas de água (estado líquido) que formam as nuvens e nevoeiros também podem manter-se em suspensão no ar. Elas constituem uma outra forma de material particulado em suspensão denominada aerossóis. Além disso, existem alguns tipos de nevoeiros provocados por componentes estranhos na atmosfera que contribuem para a poluição do ar. Para designá-los, foi criado o neologismo inglês *smog*, que resulta das palavras *smoke* (fumaça) e *fog* (neblina) (MARK, 1979). A principal origem destes componentes está associada aos gases de escapamento dos motores de combustão interna e desgaste de pneus e freios de veículos em geral. Estes poluentes agravam quadros alérgicos, de asma e bronquite, sendo que as poeiras mais grossas ficam retidas no nariz e na garganta, causando irritações e facilitando a propagação de infecções gripais (MONTEIRO, 1998).

### **2.4.3 Emissão veicular**

O motor de combustão interna aspira um certo volume de ar que é misturado com o combustível vaporizado. Essa mistura entra em combustão no interior do motor, gerando uma explosão que movimenta os pistões. Por uma série de mecanismos (virabrequim, câmbio e diferencial) os pistões imprimem movimento rotatório às rodas. A mistura ar-combustível deve ter uma relação adequada para que o oxigênio presente no ar seja suficiente para

provocar a queima completa do combustível. Os produtos da combustão são expelidos por um tubo, atingindo a atmosfera. Os veículos poluem devido à inexistência de ar suficiente para a total combustão, processo conhecido como queima incompleta. Como o motor a diesel funciona com ar em excesso (mistura pobre), a produção de monóxido de carbono é menor do que nos outros tipos de motor. A emissão de hidrocarbonetos depende da relação ar-combustível, mas é função também das características do combustível (VOLKSWAGEM, 1995).

Para Ribeiro (1997), Branco e Murgel (1995), Mouvier (1995) e Helene et al. (1994), os veículos constituem uma importante fonte de poluição do ar nas grandes cidades, entendendo-se por veículos os automóveis, caminhões, ônibus, trens, barcos, aeronaves, motocicletas, entre outros. É só considerar, por exemplo, que em 2004 o número total de veículos no território nacional era de 39.240.799 e, de 2.121.870 veículos produzidos naquele ano, 1.495.413 eram movidos à gasolina, 383.519 a álcool e 242.938 a diesel (ANTT, 2008).

#### **2.4.4 Legislação sobre emissão veicular**

O Artigo 1º da RESOLUÇÃO CONAMA nº 297 de 26 de fevereiro de 2002 estabelece limites de emissões de poluentes por ciclomotores, motocicletas (veículo automotor de duas rodas e seus similares de três rodas e quatro rodas, dotados de motor de combustão interna com cilindrada superior a 50 cm<sup>3</sup> e velocidade final superior a 50 km/h) e veículos novos.

Em seu Artigo 7º, a resolução estabelece os limites máximos de emissão de gases de escapamento para ciclomotores novos produzidos a partir de 1º de janeiro de 2003, que é de 6,0g/km de CO e 3,0 g/km de HC e NOx. Para modelos a partir de 1º de janeiro de 2005, os limites são de: 1,0 g/km de CO<sub>2</sub> e 1,2 g/km de HC e NOx.

Já em seu Artigo 8º, são estabelecidos limites máximos de emissão de gases de escapamento para motocicletas e similares novos, de produção a partir de 1º de janeiro de 2003, com os seguintes limites: 13g/km de CO e 3,0 g/km de hidrocarbonetos, 0,3 g/km de NOx.

A RESOLUÇÃO CONAMA nº 315 de 29 de outubro de 2002, considera:

que a emissão de poluentes por veículos automotores contribui significativamente para a deteriorização da qualidade ambiental, especialmente nos centros urbanos; considerando que os veículos

de ciclo Otto são fontes relevantes de emissão evaporativa de combustível; considerando que a utilização de tecnologias automotivas adequadas, de eficiência comprovada, permite atender as necessidades de controle da poluição, economia de combustível e competitividade de mercado; considerando a necessidade e os prazos para promover a qualidade dos combustíveis automotivos nacionais para viabilizar a introdução de modernas tecnologias de alimentação de combustíveis e de controle de poluição; considerando as necessidades de prazo para a adequação tecnológica de motores veiculares e de veículos automotores às novas exigências de controle da poluição; e a necessidade de estabelecer novos padrões de emissão para os motores veiculares e veículos automotores nacionais e importados, leves e pesados, visando manter a redução da poluição do ar nos centros urbanos do país e a economia de combustível.

No Artigo 1º dessa Resolução, ficam instituídas novas etapas para o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, em caráter nacional, para veículos nacionais e importados, leves e pesados, destinados exclusivamente ao mercado interno brasileiro. As Tabelas 5 e 6, adaptadas a partir dessa resolução, destacam os limites máximos de emissão de poluentes provenientes de escapamento de veículos com suas respectivas datas de implantação.

No Art. 3º ficam estabelecidos, a partir de 01 de janeiro de 2007, e no Art. 4º a partir de 01 de janeiro de 2009, os limites máximos de emissão de poluentes do ar provenientes do escapamento dos veículos leves de passageiros representados na Tabela 6.

Tabela 5: Limites máximos para veículos leves

<b>Gás/ Ano</b>	<b>CO g/km</b>	<b>THC g/km</b>	<b>NMHC g/km</b>	<b>NOx Otto g/km</b>	<b>NOx Diesel g/km</b>	<b>HCO g/km</b>	<b>MP g/km</b>	<b>Teor de CO marcha lenta</b>
2007	2,0	0,3	0,16	0,25	0,60	0,03	0,05	0,5% Vol.
2009	2,0	0,3	0,05	0,12	0,25	0,02	0,05	0,5% Vol.

Fonte: adaptado PROCONVE (2008).

No Art. 5º ficam estabelecidos, a partir de 01 de janeiro de 2007, e no Art. 6º a partir de 01 de janeiro de 2009, os limites máximos de emissão de poluentes do ar para veículos leves comerciais, com massa do veículo para ensaio menor ou igual a um mil e setecentos quilogramas (Tabela 6).

Tabela 6: Limites máximos para veículos leves comerciais de até 1.700 kg.

<b>Gás/ Ano</b>	CO g/Km	THC g/Km	NMHC g/Km	NOx Otto g/Km	NOx Diesel g/Km	HCO g/Km	MP g/Km	Teor de CO marcha lenta
2007	2,0	0,3	0,16	0,25	0,60	0,03	0,08	0,5% Vol.
2009	2,0	0,3	0,05	0,12	0,25	0,02	0,05	0,5% Vol.

Fonte: adaptado PROCONVE (2008).

No Art. 7º ficam estabelecidos, a partir de 01 de janeiro de 2007, e no Art. 8º a partir de 01 de janeiro de 2009, os seguintes limites máximos de emissão de poluentes do ar para veículos leves comerciais, com massa do veículo para ensaio, maior que hum mil e setecentos quilogramas (Tabela 7).

Tabela 7: Limites máximos para veículos leves comerciais maiores que 1.700 Kg

<b>Gás/ Ano</b>	CO g/km	THC g/km	NMHC g/km	NOx Otto g/km	NOx Diesel g/km	HCO g/km	MP g/km	Teor de CO marcha lenta
2007	2,7	0,5	0,2	0,43	1,00	0,06	0,1	0,5% Vol.
2009	2,7	0,5	0,06	0,25	0,43	0,04	0,06	0,5% Vol.

Fonte: adaptado PROCONVE (2008).

## 2.5 MECÂNICA DE MOTOCICLETAS

A motocicleta é uma combinação dos princípios da bicicleta com a adaptação de um motor de combustão interna. A primeira motocicleta foi construída pelo alemão Gottlieb Maimler, em 1885. No entanto, atribuiu-se a invenção ao inglês Edward Butler, pela construção de um triciclo a motor, em 1884. Até o ano de 1896, a motocicleta não teve grande difusão, época em que passou a desenvolver maior velocidade, tornando-se o principal meio de locomoção do homem. Em 1903, já havia mais de 50 diferentes marcas e modelos de motocicletas trafegando nas estradas inglesas. O uso da motocicleta como meio de transporte teve seu maior incremento no período das grandes guerras, passando por uma grande evolução técnica. O Brasil passou a produzir motocicletas em 1958, lançando no mercado um tipo derivado das motocicletas italianas, a lambreta e a vespa. O Brasil ocupa um lugar de destaque na produção mundial de motocicletas, fabricando motos de diversos modelos e categorias (SENAI, 2002).

### **2.5.1 Constituição da motocicleta**

Numa motocicleta, o chassi é a peça principal na estrutura, pois é ele o componente que une as partes que compõem a motocicleta. O motor é o produtor da força necessária para movimentar a motocicleta. O sistema de transmissão tem por finalidade transmitir a força gerada pelo motor à roda traseira. O sistema elétrico assegura o funcionamento da ignição, iluminação e dos principais acessórios. O sistema de freio é encarregado de deter parcialmente ou totalmente a energia cinética desenvolvida pela motocicleta. O sistema de suspensão é responsável pela absorção dos solavancos produzidos pela irregularidade do solo. O sistema de direção guia a motocicleta para a direção desejada do condutor. O fornecimento do combustível necessário ao motor fica a cargo do sistema de alimentação e o sistema de distribuição faz com que o funcionamento do motor seja sincronizado juntamente com o comando de válvulas e o distribuidor. Já o sistema de lubrificação é incumbido de manter lubrificadas as partes móveis do motor e da caixa de mudanças de marchas, enquanto que o sistema de embreagem encarrega-se de facilitar a troca de marchas, desconectando o motor da caixa de mudanças de marchas (RIBARICK, 2002).

### **2.5.2 Motores**

A denominação genérica de motores de combustão interna são conforme Bonastre e Schultz (1951): todas as máquinas térmicas que geram trabalho mediante combustão interna devido à mistura de ar e um gás combustível.

Beires (1962), define motor, ou máquina motriz, como todo o aparelho destinado a transformar energia de qualquer espécie em energia mecânica. Os motores que transformam a energia calorífica em energia mecânica são chamados de motores ou máquinas térmicas.

Os motores térmicos dividem-se em máquinas a vapor e motores de combustão interna. Máquinas a vapor são aquelas que aproveitam o vapor da água como fonte de energia secundária. A energia primária empregada é a energia calorífica oriunda do aquecimento da água e conseqüente produção de vapor. Motores de combustão interna são aqueles para os quais se utiliza de um processo de combustão rápida ou lenta de um combustível a fim de se produzir a energia mecânica que se pretende. Os motores de combustão interna dividem-se em motores de combustão interna propriamente ditos e motores de explosão. Motores de combustão interna propriamente ditos são aqueles nos quais o combustível é queimado

gradualmente, à medida que vai sendo admitido nos cilindros. A designação de motores de combustão interna aplica-se corretamente a este tipo de motores. Motores de explosão são aqueles em que a mistura de ar e combustível com que são alimentados é inflamada instantaneamente (BEIRES, 1962).

Um motor de explosão é essencialmente constituído pelos seguintes aparatos: cilindros, êmbolos ou pistões, bielas ou tirantes, virabrequim ou eixo de manivelas, sistema de ignição ou inflamação, dispositivo de alimentação, dispositivo de lubrificação e dispositivo de refrigeração (VOLKSWAGEM, 1989).

O primeiro motor a gás foi proposto por Papin, em 1687, e é conhecido como “máquina movida à pólvora”. Os resultados desta máquina não foram satisfatórios, principalmente dadas as suas dificuldades de fabricação (BONASTRE e SCHULTZ, 1951).

O inventor alemão Nikolaus August Otto, nascido em 14 de junho de 1832, foi o inventor do motor de combustão interna nomeado “ciclo de Otto”, conhecido como motor a gasolina. Otto iniciou suas pesquisas obcecado com a tecnologia do gás e do vapor. Na época, um outro pesquisador chamado de Jean-Joseph-Etienne Leanoir havia recém desenvolvido (em 1860) um motor que queimava gás natural. Acoplado ao carro, apesar de fazer o carro mover-se por conta própria o motor era barulhento e ineficiente (BARSA (c), 2002).

Otto acreditava que poderia melhorar a eficiência do motor utilizando um combustível líquido e, assim, iniciou suas experiências. Ele concluiu seu primeiro motor a gás em 1861 e formou uma sociedade com um industrial alemão chamado Eugen Langen, formando uma empresa conhecida como N.A. Otto & Cia (empresa essa que ainda opera atualmente como Deutz AG). Otto estabeleceu a relação da mistura ar-combustível antes da queima, sugerindo assim, a idéia do ciclo Otto, também conhecido como ciclo de quatro tempos. Depois de cinco anos desenvolvendo a tecnologia, Otto foi premiado por seu motor de gás atmosférico na Exposição de Paris, em 1867 (BONASTRE e SCHULTZ, 1951).

O engenheiro especializado em termodinâmica, Rudolf Christian Karl Diesel, nascido na França, em 1858, foi o inventor de um motor de combustão interna que poderia funcionar a baixos ciclos de dois e quatro tempos. Em 1892, patenteou o motor de combustão interna que leva seu nome e que trabalha a base de auto-ignição de combustível. Em 1885, Diesel iniciou suas experiência de laboratório que se estenderam por 13 anos, construindo seu primeiro motor em 10 de agosto de 1893 em Augsburg, Alemanha, associado com uma firma do grupo Krupp. Em 4 de outubro de 1897, concluiu seu motor com eficiência teórica e prática de 75,6% comparativa aos motores a vapor da época com rendimento de 10% (BARSA (b), 2002).

Conforme Bonastre e Schultz (1951), os motores ao longo de sua história passaram pelas mais diversas transformações e evoluíram nas mais diversas áreas tecnológicas. As diferentes classificações de motores diferem de autor para autor, dependendo da área de interesse. Autores classificam motores pelo número de cilindros, pelos combustíveis empregados, ciclo de trabalho, entre outros. Em geral, os motores de combustão interna são classificados pelo combustível consumido. Certos motores utilizam a mistura detonante convenientemente dosada e pronta para a inflamação rápida ao ser introduzida no cilindro, dando lugar à explosão instantânea (motores de explosão). Em outros motores, o ar é introduzido no cilindro e, a seguir, é comprimido, sendo a combustão da mistura realizada à medida que o combustível vai entrando no cilindro (motores de combustão interna tipo Diesel). Existe ainda outro tipo de motor (motor Brayton) no qual a mistura é feita num cilindro suplementar, onde é comprimida, sendo queimada depois ao dar entrada no cilindro do motor (BEIRES, 1962).

De acordo com a classificação de Witz, pode-se dividir os motores em quatro categorias:

- 1° Motores de explosão sem compressão;
- 2° Motores de explosão com compressão: Otto;
- 3° Motores de combustão com compressão: Diesel;
- 4° Motores de combustão sem compressão.

Os tipos de maior relevância por seu combustível empregado e usabilidade no transporte generalizado são: motor de explosão com compressão e o motor de combustão com compressão.

Outra classificação adotada é baseada no combustível empregado (BEIRES, 1962):

- 1° Motores de gás rico (de iluminação);
- 2° Motores de gás pobre (gás de água, de altos fornos ou Siemens);
- 3° Motores a ar carburado (gasolina, álcool, benzol ou mistura);
- 4° Motores a óleo pesados (petróleo bruto, óleos de xisto).

Dada a finalidade especial deste trabalho, não será feita qualquer referência sobre alguns tipos de motores como parte do desenvolvimento que comportaria, detendo-se ao motor de explosão com compressão, também conhecido como motor de ciclo Otto, motor de combustão por centelha e motor de combustão interna.

O funcionamento mecânico dos motores de combustão interna será explanado conforme SENAI (2002):

Esse tipo de motor baseia-se no princípio dos momentos, ou seja, no efeito da expansão dos gases em combustão atuando na cabeça de um êmbolo, no interior de um cilindro, e ligado a uma manivela por meio de um braço conhecido como biela. A força de expansão dos gases em combustão impulsiona o êmbolo para baixo e a biela transforma seu movimento alternado de sobe e desce em movimento rotativo da manivela. Isso significa que o êmbolo obrigatoriamente inverte seu curso em dois pontos distintos, que se denominam Ponto Morto Superior (PMS) e Ponto Morto Inferior (PMI). As válvulas têm por função abrir e fechar no momento adequado, o que ocorre porque o mecanismo de comando de válvulas está sincronizado com o movimento da árvore de manivelas. O sistema é composto por duas válvulas distintas: uma de admissão, que permite a entrada de misturas ar/combustíveis para dentro do cilindro e outra de escapamento, que permite a saída dos gases queimados para fora. O funcionamento do motor depende de quatro fases distintas: a) admissão, b) compressão, c) explosão e d) escapamento. Cada uma dessas fases se desenvolve em curso completo do êmbolo, ou seja, um deslocamento completo do PMS ao PMI ou vice-versa. Para cada curso completo do êmbolo, a árvore de manivelas gira meia volta, o que significa que ao completar o ciclo, ela desenvolveu duas voltas completas.

A admissão inicia quando o êmbolo se encontra no PMS. Abre-se a válvula de admissão e o êmbolo inicia seu movimento descendente, permitindo a entrada da mistura combustível, devido ao vácuo provocado pelo êmbolo, sendo que isso ocorre até que o êmbolo atinja o PMI. Nesse momento, fecha-se a válvula de admissão e a árvore de manivela terá completado meia volta.

Ao fim da fase de admissão, inicia-se a fase de compressão, na qual o êmbolo comprime a mistura ar/combustível aspirada e se desenvolve ascendentemente do PMI ao PMS, reduzindo, sensivelmente, o volume ocupado pela mistura gasosa. Nesse tempo, a árvore de manivelas haverá completado mais meia volta.

Inicia-se então a fase de explosão. Ao atingir o PMS na fase de compressão, o êmbolo terá comprimido fortemente a mistura combustível, condicionando-a à explosão. Para ocorrer a explosão, faz-se necessário uma faísca elétrica no espaço em que a mistura está comprimida, catalisando assim a sua ignição. Como o efeito da explosão provoca a expansão dos gases queimados, eles deslocam violentamente o êmbolo do PMS ao PMI, fenômeno conhecido como tempo motor. Com a conclusão desta fase, ocorre mais meia volta da árvore de manivelas.

Ao atingir o PMI, por força do deslocamento dos gases inflamados, o êmbolo tende a inverter o seu curso. Nesse instante, o mecanismo das válvulas abre a válvula de escapamento, que permanece aberta até que o êmbolo atinja novamente o PMS. A pressão provocada pelo movimento ascendente do êmbolo faz com que os gases queimados sejam expulsos do interior do cilindro através da válvula de escapamento. Com isso, ocorre a quarta e última meia volta da árvore de manivelas, completando as duas voltas para a conclusão do ciclo. A partir desse momento, inicia-se novamente a primeira fase e, assim, sucessivamente.

Os motores de combustão interna diferem entre si em tamanho, potência desenvolvida, número de cilindros, combustíveis utilizados e outras particularidades. Entretanto, todos obedecem aos mesmos princípios básicos de funcionamento.

O motor de dois tempos difere do motor de quatro tempos pois completa o ciclo de funcionamento em dois tempos, ou seja, em dois cursos do êmbolo e uma volta da árvore de manivelas.

### **2.5.3 Parte superior do motor**

O conjunto cilindro-êmbolo (camisa-pistão) é responsável pela sucção da mistura de ar/combustível necessária para seu funcionamento. O cilindro é um corpo roliço de diâmetro igual em todo o seu comprimento. No motor, essa denominação é dada a uma cavidade similar, onde trabalha o êmbolo. O êmbolo está localizado no interior do cilindro, com os respectivos anéis de segmento, o pino e a trava, e é encarregado de receber a pressão dos gases em combustão e transmitir a força de expansão à biela (VOLKSWAGEM, 1989).

O cabeçote do motor é o elemento responsável pela vedação da parte superior do cilindro, formando, com este, o espaço no qual a mistura ar/combustível deve comprimir-se para a eventual explosão. O cabeçote tem tamanho e formas que variam de acordo com as características do motor e é composto geralmente pelos seguintes elementos: a) tampa de válvulas, b) válvula de admissão, c) válvula de descarga, d) carcaça, e) junta do cabeçote, f) balancim e g) varetas de acionamento (VOLKSWAGEM, 1989).

### **2.5.4 Parte inferior e sistema de transmissão**

O conjunto motor/transmissão são elementos que formam a propulsão e a tração da motocicleta, formados pelo conjunto móvel do motor e pela caixa de mudanças de

transmissão, montados em um único bloco. O conjunto móvel tem a missão de transformar o movimento retilíneo alternado do êmbolo em movimento circular da árvore de manivelas do motor. Esse conjunto é formado por árvore de manivelas, biela, munhão da biela, volante do motor e rolamentos. A caixa de mudanças é um mecanismo que, através de engrenagens, permite variar a velocidade da transmissão em benefício de maior força de tração na motocicleta. A caixa de mudanças permite que o motor funcione numa faixa constante de rotação, variando rotação da roda traseira de acordo com a necessidade na condução. O conjunto do seletor de marchas é um mecanismo de transmissão, cuja função é promover a mudança de velocidade permitida pela caixa de mudanças nas mais diversas condições de utilização da motocicleta. Geralmente, essa seleção de marcha é feita através da utilização de um pedal, situado no lado oposto do pedal do freio traseiro (SENAI, 2002).

### **2.5.5 Sistema elétrico de ignição**

O sistema de ignição é um conjunto de peças que funciona em perfeito sincronismo. Quando é acionada a chave de ignição, a corrente começa a fluir da bateria ou magneto em direção ao enrolamento primário da bobina, que com os platinados fechados, cria um campo magnético no seu interior. Quando o eixo came do distribuidor abre os contatos dos platinados, a corrente é interrompida bruscamente, cortando o campo magnético, que cai rapidamente. Nesse momento, o condensador absorve a corrente, impedindo-a de saltar entre os contatos dos platinados, indo para o cabo de alta-tensão até a vela de ignição, provocando a centelha que inflama a mistura. A regulagem da distância dos eletrodos da vela de ignição deve estar sempre dentro das especificações; caso contrário, a produção de centelha pode prejudicar a inflamação da mistura. O ponto de ignição é o momento em que a centelha deve ser produzida na vela de ignição para inflamar a mistura ar/combustível. A centelha deve ser produzida na vela antes que o pistão chegue ao PMS no tempo de compressão de modo que, quando este completar o seu curso, toda a mistura já tenha sido queimada. O momento em que a centelha deve chegar à vela de ignição é medido em graus na polia do motor. Cada motor tem um ponto de ignição predeterminado pelo fabricante. O eixo came abre e fecha os contatos dos platinados num ritmo determinado pela velocidade da árvore de manivelas e todo esse processo ocorre quando o motor completa um ciclo de trabalho, ou seja, os quatro tempos (BARATA, 1991).

### 2.5.6 Sistema de alimentação

Um dos principais componentes do sistema de alimentação é o carburador. A carcaça do carburador forma o corpo principal com alojamentos específicos para o êmbolo de aceleração, parafuso de ajuste da rotação (marcha lenta), bóia controladora de nível, calibradores e borboleta do afogador. Em seu interior, encontram-se duas cavidades cilíndricas: uma vertical e outra horizontal. Na cavidade vertical, estão alojados o êmbolo controlador do fluxo de ar e a agulha de controle de combustível. Na cavidade horizontal, encontram-se a borboleta do afogador e um estreitamento central chamado difusor, cuja função é provocar o efeito Venturi ou o aumento da velocidade do ar aspirado pela diferença de pressão. A cuba de nível constante é um reservatório de combustível no carburador. Tem forma de copo, sendo fixada à carcaça do carburador por meio de um pino mancal de deslizamento. Em sua estrutura, encontra-se o parafuso de drenagem, destinado ao esvaziamento da cuba para eventuais reparos (VOLKSWAGEM, 1991).

## 2.6 PERFORMANCE MECÂNICA

A performance mecânica está relacionada com os dados quantitativos que podem ser obtidos de um motor de combustão interna. São descritos a seguir os principais itens observados em um motor em atuação, tais como a potência, o rendimento, o consumo e o torque.

### 2.6.1 Torque

Conforme Resnick (2003), a palavra torque originou-se de uma raiz latina que significa “torcer”. É uma grandeza vetorial aplicada à dinâmica rotacional que leva em conta tanto a intensidade, a direção e o sentido da força, quanto a localização do ponto na qual ela é aplicada. No Sistema Internacional, a unidade do torque é o Newton-metro (N.m). Os torques obedecem ao princípio da superposição, isto é, quando vários torques atuam sobre o mesmo corpo, efetua-se a soma dos torques individuais para adquirir-se o chamado torque resultante ou torque líquido. Na Tabela 8, destacam-se algumas relações correspondentes para movimentos de rotação pura em eixo fixo.

Quadro 1: Relações correspondentes para movimentos de rotação pura

Posição angular (rad)	$\Theta$
Raio de rotação (m)	$r$
Força tangencial (N)	$F$
Velocidade periférica (m/s)	$V$
Frequência (Hz)	$f$
Velocidade angular (rad/s)	$\omega = d\Theta/dt$
Velocidade angular (rad/s)	$\omega = 2.\pi.f$
Torque (N.m)	$T = F.r$
Potência (torque constante) (W)	$P = T.\omega$
Potência (torque constante) (W)	$P = T.2.\pi.f$
Potência (torque constante)	$P = F.V$
Aceleração angular (rad/s <sup>2</sup> )	$\alpha = d\omega/dt$
Força (N)	$F = I.\alpha$
Trabalho (J)	$W = \int F.dt$
Energia cinética (J)	$K = \frac{1}{2} .I.\omega^2$

Fonte: Halliday et al. (2006) e Melconian (1999).

A Tabela 8 demonstra, matematicamente, a influência das variáveis sobre o torque em movimentos de rotação pura.

### Torque do motor

O torque do motor é a medida do esforço necessário para fazer girar um eixo e é dado pela equação básica  $T = F.r$  (N.m). No caso de qualquer motor, o torque de partida deve ser maior do que o torque resistente acoplado ao eixo. Após um certo tempo a partir do início da operação do motor, na velocidade nominal, há o encontro das curvas de torque do motor e do torque resistente. Se a carga mecânica diminui, o torque do motor também diminui e a velocidade aumenta, estabilizando num novo regime (HALLIDAY et al., 2006).

### 2.6.2 Potência

Conforme Beires (1962), várias são as potências que devem ser consideradas ao estudar-se um motor. Chama-se a potência de um motor, o trabalho que o motor realiza por segundo. Trabalho é o efeito útil de uma força quando desloca o seu ponto de aplicação na direção em que atua. As unidades mais utilizadas para potência de motores são o HP (Horse Power) e o CV (Cavalo Vapor) que representam aproximadamente 746 W e 736 W, respectivamente (HALLIDAY et al., 2006). Conforme Perfectum (2008), em um motor deve-se considerar várias potências, tais como:

- a) **Potência teórica:** corresponde à transformação integral de toda a energia calorífica fornecida ao motor em energia mecânica;
- b) **Potência indicada:** corresponde à energia que o motor forneceria se transformasse toda a potência transmitida pelo êmbolo ou pistão em potência efetiva sobre o virabrequim;
- c) **Potência efetiva:** é a potência utilizável e chamada por isso de potência no veio-motor (virabrequim). A potência é representada matematicamente através da seguinte expressão:  $P = F \cdot V$  (ver quadro 1);
- d) **Potência mássica:** é a potência efetiva dividida pelo peso do motor, sendo essa a potência utilizada para comparar industrialmente dois motores;
- e) **Potência nominal:** é a potência indicada pelo fabricante.

O dinamômetro e o torquímetro são equipamentos capazes de medir o torque e a potência (trabalho executado por unidade de tempo) de um motor em suas diversas condições de funcionamento (PERFECTUM, 2008). O dispositivo mais antigo, utilizado até os dias de hoje para medir a potência do motor, é constituído por um volante, circundado por uma cinta, conectada a um braço, cuja extremidade se apóia sobre a plataforma de uma balança. O volante, acionado pelo motor, tem seu movimento restringido pela pressão aplicada à cinta, a qual transmite o esforço ao braço apoiado sobre a balança. A partir das leituras da balança, calcula-se o esforço despendido pelo motor. Esse dispositivo é conhecido de Freio de Prony (FEM, 2008). A potência do motor ( $P$ ) é calculada (Quadro 1) levando-se em consideração a rotação do motor ( $f$ ), o comprimento do braço ( $m$ ) e a leitura da balança ( $kg$ ). Sabendo-se que a periferia do volante percorre, no intervalo de uma rotação, a distância de  $2 \cdot \pi \cdot r$  ( $r$  é o raio do volante rotativo) contra a força de atrito ( $F_{at}$ ) aplicada pela cinta, em cada rotação observa-se a seguinte fórmula (AEROTECNOLOGIA, 2008):

$$T = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot F_{at} \quad (1)$$

O conjugado resistente ao atrito é formado pelo produto da leitura  $m$  (massa em kg) da balança e pelo valor  $d$  (comprimento do braço de alavanca em metros), o qual será exatamente igual ao produto  $r$  (raio do volante em metros) vezes  $F_{at}$  (força de atrito em Newton); conjugado esse que tende a mover o braço. Portanto:

$$r \cdot F_{at} = m \cdot d \quad (2)$$

Em uma rotação de trabalho:

$$T = 2.\pi.m.d \quad (3)$$

Se o motor trabalha a uma frequência  $f$  (Hz), a potência será dada por:

$$P = 2.\pi.m.d.f \quad (4)$$

O Freio de Prony apresenta inconvenientes operacionais, destacando-se dentre esses o fato de que a carga mantém-se constante independente da rotação empregada. Então, se a rotação diminuir em função do motor não suportá-la, a rotação irá diminuir até a parada total do mesmo. Em função destes inconvenientes, essas máquinas vêm sendo substituídas por dinamômetros mais versáteis, com predominância dos dinamômetros hidráulicos (PERFECTUM, 2008). Existem outras máquinas capazes de medir torque, valendo ressaltar, por exemplo, o dinamômetro de corrente de Foucault, que rotaciona imerso em um campo eletromagnético; o dinamômetro elétrico, que produz energia elétrica, a qual é consumida por uma carga variável (cuba eletrolítica de resistores); o dinamômetro de ventilação, que opera por longos períodos de tempo, com o objetivo de amaciamento de motores e que exige pouca precisão nos resultados; e, finalmente, sensor de torque (*torque sensor meter*), capaz de medir o torque através de uma célula de carga (FEM, 2008).

### 2.6.3 Rendimento

Rendimento de um motor é a relação existente entre a energia de qualquer espécie que lhe é fornecida e a energia mecânica que ele produz (PERFECTUM, 2008). São vários os rendimentos a considerar. Em um motor de combustão interna, a energia fornecida é a energia calorífica ou térmica e apresenta-se na forma de combustível. O rendimento de um motor é a razão entre o trabalho mecânico realizado quando o motor funciona e o trabalho mecânico teórico do combustível, medido em função do número de calorias produzido pela unidade de peso do referido combustível. Entre os tipos de rendimentos, são destacados (BEIRES, 1962):

- a) **Rendimento térmico teórico:** conhecido também como rendimento teórico, é a relação entre a quantidade de trabalho utilizado e a quantidade de trabalho fornecido;
- b) **Rendimento indicado:** é a relação entre o trabalho útil indicado e o trabalho teórico, fornecido pelo combustível durante um dado tempo;
- c) **Rendimento termodinâmico:** é a relação existente entre o trabalho efetivo fornecido por um determinado motor e o trabalho mecânico teórico fornecido pelo combustível que o motor consome, durante um diferencial de tempo;
- d) **Rendimento mecânico:** é a relação entre o trabalho efetivo e o trabalho indicado de um motor.

Para aumentar o rendimento de um motor, considera-se que o rendimento real do mesmo é sempre inferior ao seu rendimento máximo teórico devido a imperfeições da mistura, inflamação incompleta, perda de calor absorvido pelas paredes dos cilindros, perda de calor na fase da evacuação, atritos e resistências que absorvem trabalho (BEIRES, 1962).

#### 2.6.4 Consumo

O consumo é um dado fundamental para o conhecimento do motor e, conforme Beires (1962), são considerados três espécies de consumo:

- a) **Consumo específico:** é a razão entre a massa do combustível consumido por hora e a potência efetiva;
- b) **Consumo por unidade de distância:** é a razão entre o consumo horário médio e a velocidade. Este consumo é mais comumente utilizado em motores de propulsão;
- c) **Consumo horário:** é o consumo por hora à velocidade normal de utilização do motor (número de litros de combustível dividido pelo número de horas de trabalho). Este consumo é utilizado tanto em motores estacionários, como em motores de propulsão. É especialmente interessante em motores de avião, pois a distância percorrida não é necessariamente função do tempo de permanência no ar, visto que as correntes de ar influenciam demasiadamente no percurso.

## 2.7 PERFORMANCE DOS BIOCOMBUSTÍVEIS E SUAS EMISSÕES

Atualmente, a literatura é ampla quanto aos temas relacionados à performance de motores alimentados com biodiesel, mas não há nenhuma referência sobre a biogasolina. Dentre os trabalhos mais relevantes destacam-se os trabalhos descritos a seguir.

Utlu (2007) realizou ensaios experimentais usando metil éster a base de óleo de fritura residual doméstica em motor Diesel e constatou sucesso operacional do motor testado, sem necessitar de qualquer adaptação mecânica. Os resultados obtidos possibilitaram identificar uma redução de 17,14% nas emissões de dióxido de carbono e 1,45% nas emissões de óxidos de nitrogênio. Peng (2007) utilizou biodiesel a base de óleo vegetal e gordura animal na proporção de B20 durante 80.000 quilômetros e constatou um decréscimo nas emissões de aldeídos e formaldeídos ao longo do percurso. Tashtouch et al. (2003) efetuou testes com metil éster obtido a partir de óleo residual doméstico em caldeiras e constatou que este pode ser o substituto ideal do diesel por ser de fácil aquisição, mais barato e renovável. Canakci et al. (2006) observou que, apesar de a emissão de NOx ser maior, o biodiesel possui maior número de cetanas que o diesel derivado de petróleo e contém entre 10 e 11% de oxigênio em massa, razão pela qual as taxas de emissão de CO, hidrocarbonetos e materiais particulados tornaram-se inferiores ao diesel.

Outros estudos, realizados por Canakci (2007) e utilizando um motor a Diesel de quatro tempos, quatro cilindros, com taxa de compressão de 16,8:1, os quais tiveram como objetivo estudar a performance dos combustíveis utilizando-se controladores baseados em redes neurais, possibilitaram a avaliação de problemas de performance operacional do motor. No estudo foram utilizados Diesel e biodiesel de óleo de soja misturado ao Diesel com numa proporção de 20%. O motor operou a 1400 rpm e um torque de 257,7 N.m. Ao motor foi acoplado um dinamômetro, modelo TLC 2544, e os dados das emissões gasosas possibilitaram avaliar a concentração dos seguintes gases: NO, NOx, HC, CO<sub>2</sub>, CO e O<sub>2</sub>. Os testes foram executados em triplicata e o sistema operou dentro dos limites aceitáveis estipulados pelo pesquisador. O sistema pode ser utilizado com diferentes biocombustíveis para determinação da performance do motor e emissão gasosa.

Um estudo realizado por Ali et al. (1996), em bancada dinanométrica e utilizando-se 12 combustíveis alternativos diferentes oriundos de óleos vegetais e misturados ao óleo diesel, constatou que o desempenho do motor com biodiesel foi similar ao desempenho do mesmo com óleo diesel.

Ajav et al. (1999) investigou a performance de um motor Diesel estacionário monocilindro, modelo TV 110 de 10 HP, com taxa de compressão 15,6:1 e rotação constante de 1500 rpm, operando com uma mistura de diesel e etanol. As misturas utilizadas foram de 5, 10 e 20% de etanol no Diesel. Percebeu-se que não houve variação na velocidade do motor quando a mistura concentrava 20% de etanol na mistura. As temperaturas dos gases de exaustão diminuíram, com redução de 62% na emissão de CO, 24% de NOx e o motor pôde ser ligado normalmente tanto quente como frio.

Usta et al. (2005) avaliou a combustão do biodiesel produzido a partir do óleo de avelã, misturado com resíduo de óleo de girassol, num motor a diesel de quatro tempos e quatro cilindros de injeção indireta. Os resultados da investigação mostraram que este combustível pode ser utilizado misturando-se com diesel e, nas análises realizadas, as condições de operação, em termos de performance e emissão de gases e sem qualquer modificação no motor ou pré-aquecimento da mistura, mostraram-se satisfatórias.

Jia et al. (2005) investigou as características da emissão gasosa da mistura de etanol na gasolina em uma motocicleta. A moto utilizada no experimento foi de marca Honda com 125 cc, nova, quatro tempos, mono-cilindro, refrigeração a ar, com taxa de compressão de 9:1, potência máxima de 7000 W a 8000 rpm, sem catalisador. Os testes foram executados com velocidades de 15, 32, 35 e 50 km/h. Os testes dinâmicos foram executados sobre rolos, simulando condições normais de operação. Na investigação, foram coletadas amostras de HC, CO e NOx e os resultados mostraram que houve uma diminuição nas emissões de CO, HC e insignificante acúmulo de NOx.

Zheng et al. (2007), investigou as emissões de um motor a diesel de 4 tempos monocilindro, alimentado com biodiesel a base de canola e diesel. A investigação mostrou que o biodiesel com o mesmo número de cetanas do diesel produziu maiores emissões de NOx, porém os níveis de CO e THC foram menores.

Murillo et al. (2007) investigou a performance de um motor de 4 cilindros a Diesel, utilizando diesel, B10, B30, B50 e B100. Constatou-se a diminuição de 3 a 10% na emissão de CO, quando comparado com o Diesel, porém as emissões de NOx cresceram em até 16%. Observou-se também que as taxas de emissões de NOx aumentam com o aumento das concentrações de biodiesel na mistura.

Diante da revisão bibliográfica consultada optou-se em construir um aparato mecânico a fim de comparar torque, consumo e emissões gasosas utilizando diferentes combustíveis descritos no próximo capítulo.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritas as condições dos ensaios com o motor, insumos utilizados nos experimentos, desmontagem e montagem do motor entre os experimentos, montagem do dinamômetro, medidor de consumo de combustível, controle da temperatura do motor, controle da rotação do motor, medida do tempo, medida do consumo, medida do torque, medida qualitativa e quantitativa dos gases exauridos, análise cromatográfica dos gases de combustão e o planejamento dos experimentos.

Os testes de combustão foram realizados no Laboratório de Desenvolvimento de Processos (LDP) da Universidade Regional de Blumenau utilizando-se um motor de moto CG 125. Nesse laboratório compôs-se as misturas de biogasolina e gasolina nas proporções estabelecidas com o auxílio de pipetas e provetas volumétricas. As misturas foram nomeadas de acordo com a terminologia BG10, BG15, BG20, BG25 e BG30, os quais representam, respectivamente, misturas de combustíveis com proporções volumétricas de 10, 15, 20 e 30% de biogasolina na gasolina. As misturas preparadas foram usadas nos testes de combustão da motocicleta o que possibilitou avaliar o consumo, torque aparente do motor e a qualidade das emissões gasosas oriundas deste processo.

#### 3.1 CONDIÇÕES DOS ENSAIOS COM O MOTOR

O aparato usado para a execução dos testes mecânicos foi construído a partir de um motor de motocicleta CG 125 cilindradas, semi-novo, da marca Honda. Para efetuar os ajustes necessários, o motor foi desmontado, limpo e restaurado, mantendo suas propriedades funcionais e mecânicas originais. Algumas adaptações foram necessárias para facilitar o manuseio, coleta de dados, transporte, manutenção preventiva e corretiva. A Figura 2 mostra a visão frontal do motor quando adquirido, enquanto que a Figura 3 mostra a visão lateral do motor após a limpeza geral externa.



Figura 2: Motor: vista frontal depois da aquisição.



Figura 3: Motor: vista lateral depois da limpeza.

Procedeu-se, em seguida, a limpeza e os reparos internos do motor como descrito no Quadro 2, a qual relaciona os principais reparos realizados no motor com o intuito de garantir seu perfeito funcionamento durante os ensaios.

Quadro 2: Reparos realizados no motor antes dos ensaios

<b>Descrição</b>
Substituição da junta do cabeçote do motor
Substituição do óleo do cárter do motor
Substituição da junta de dilatação do motor
Substituição da vela
Substituição da junta do carburador
Substituição da junta do escapamento
Substituição da bóia de combustível do carburador
Substituição do filtro de ar
Substituição do escapamento

Depois da limpeza e restauração do motor, procedeu-se a regulagem do carburador, constituído principalmente pela carcaça do carburador, cuba de nível constante, bóia controladora do nível, calibradores, parafusos de ajuste da rotação, parafuso de drenagem, parafuso da mistura, êmbolo controlador da aceleração e suporte do êmbolo controlador da aceleração. O cabo do acelerador foi mantido em sua posição original, com tração constante durante todos os ensaios. O giclê foi mantido de acordo com a originalidade de fábrica e o parafuso de mistura ar-combustível foi ajustado da seguinte forma: fechou-se completamente e retornou-se 1,5 voltas, utilizando uma chave de fenda. O controle da rotação do motor foi ajustado no parafuso de entrada de ar, conhecido como parafuso de regulagem da lenta.

Com a restauração, montagem e os ajustes mecânicos necessários, uma estrutura metálica foi construída para o suporte do motor, escapamento, guidão, entrada do combustível por gravidade, suporte do comando de ignição e parte elétrica.

O aparato ilustrado na Figura 4(a) retrata a montagem do motor no quadro com suporte para o guidão, maçaneta de embreagem, cabo de embreagem, maçaneta do acelerador e cabo do acelerador.



Figura 4: Aparato mecânico: (a) fixação do motor no quadro e (b) aparato fixado no assoalho do laboratório.

Fixou-se o aparato mecânico no piso do laboratório por meio de parafusos (com buchas) na parte traseira e parafusos de regulagem de esticamento de corrente na parte frontal. A fixação foi necessária para diminuir a vibração e o ruído, além de possibilitar a acoplagem dos equipamentos (torquímetro, balança, entrada de combustível, coletor de gases do escapamento, cromatógrafo, bateria de alimentação, conta-giro, ventilador e alimentador de tensão do torquímetro). A Figura 4(b) mostra o aparato mecânico em processo de montagem e fixação no interior do LDP da FURB.

A Figura 5 ilustra a estrutura completa do aparato composta pelo motor e toda a parte mecânica: balança, dinamômetro, fonte estabilizadora, conta-giro, alimentador de combustível, cromatógrafo gasoso, microcomputador e, sobre a mesa, os materiais e ferramentas utilizadas nos experimentos.

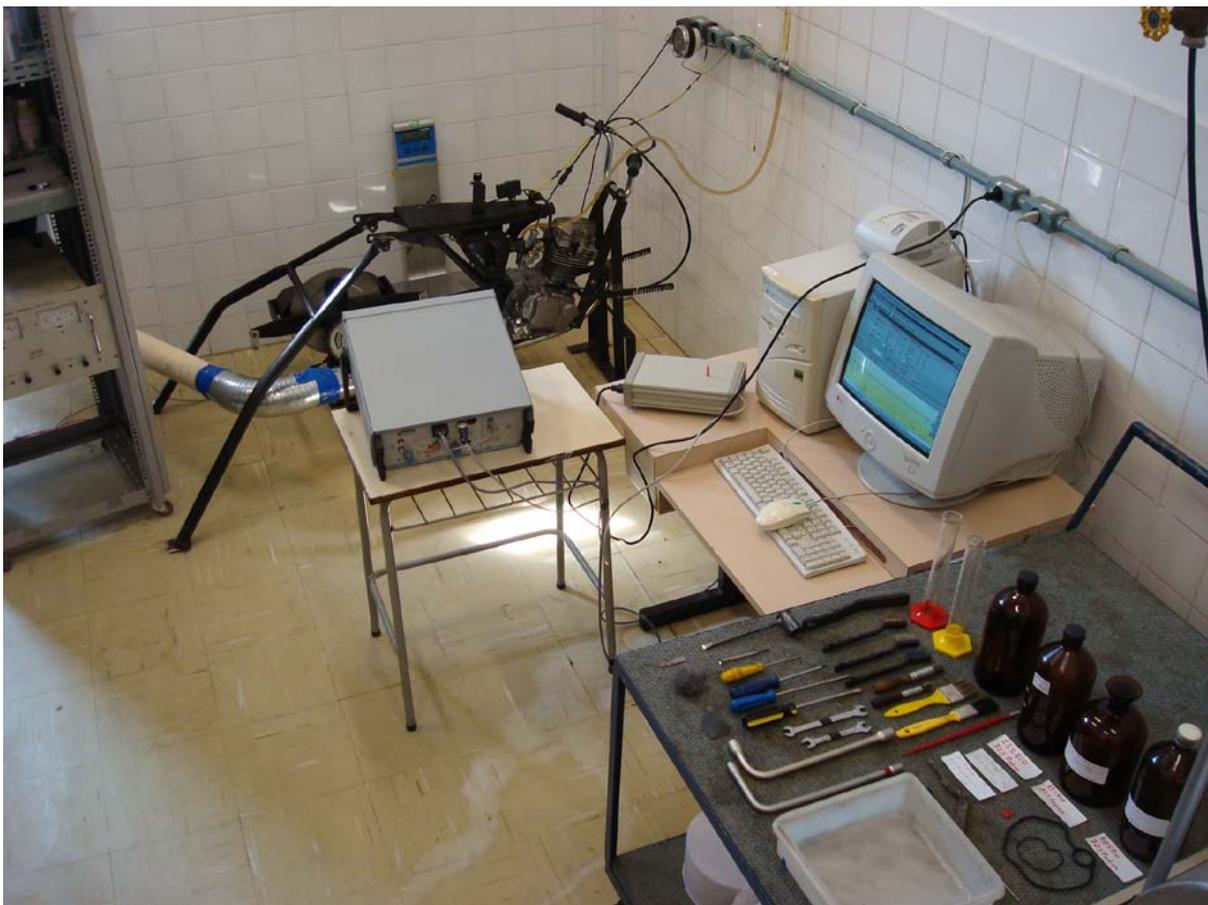


Figura 5: Estrutura completa

## 3.2 INSUMOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

### 3.2.1 Biogasolina

A biogasolina usada no experimento é oriunda do craqueamento térmico de óleo de peixe residual produzido com base em trabalhos de pesquisas científica e tecnológica desenvolvidos no LDP da FURB. O processo de produção da biogasolina baseou-se no uso de um reator pirolítico tubular sob condição de operação contínua, em escala piloto. A metodologia do craqueamento térmico obedeceu ao procedimento descrito por Wiggers (2007), com uma taxa de alimentação de 3 kg/h, operada isotermicamente a 525°C. Os produtos do craqueamento térmico foram separados por destilação simples o que resultou na biogasolina, a qual representou alto poder calorífico (na ordem de 9763 PCS (Poder Calorífico Superior)), caracterizando-se pela similaridade com a gasolina fóssil em suas

propriedades físicas e químicas, confirmadas com base em análises cromatográficas descritas no trabalho desenvolvido por Winiewski<sup>2</sup> (2008).

### 3.2.2 Gasolina e misturas

A gasolina Podium utilizada foi adquirida no posto Almirante (bandeira Petrobrás), na cidade de Blumenau, localizado na Rua Almirante Barroso n° 1050. A gasolina foi armazenada em 15 garrafas de vidro fornecidas pelo Laboratório de Combustíveis da FURB, responsável pelo monitoramento da qualidade dos combustíveis de Santa Catarina e caracterização das amostras utilizadas. A Figura 6(a) ilustra a embalagem de vidro opaco de 1 litro. A Figura 6(b) mostra a embalagem retentora da vidraria durante o transporte e a armazenagem. A Figura 6(c) mostra o posto de gasolina, fonte da gasolina Podium.

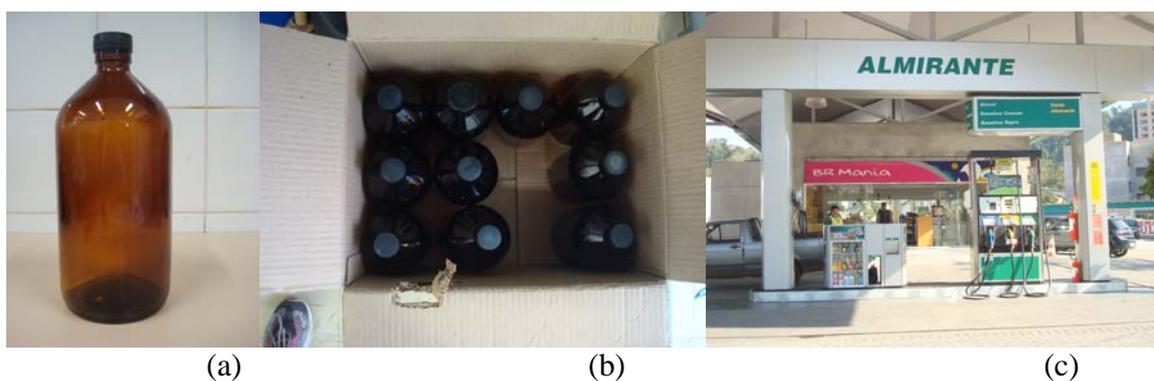


Figura 6: Gasolina Podium. (a) Frasco opaco. (b) Embalagens retentoras da vidraria. (c) Posto de gasolina.

### 3.3 DESMONTAGEM E MONTAGEM DO MOTOR ENTRE EXPERIMENTOS

No início do primeiro ensaio experimental e no intervalo de cada experimento com combustíveis diferentes, o motor sofreu manutenções sucessivas, as quais incluíam a remoção da tampa do cabeçote, do comando de válvulas e das válvulas do cabeçote, do escapamento e do carburador. Concluída a desmontagem, o aparato mecânico passou por uma limpeza externa e interna (incluindo a cabeça do pistão), utilizando-se como principais acessórios pincéis e gasolina Podium como solvente. Após a manutenção procedeu-se a montagem,

---

<sup>2</sup> Trabalho de Doutorado em fase de conclusão.

tendo cuidado com a regulagem das válvulas. As válvulas foram calibradas com 0,8 mm de folga, utilizando-se um gabarito metálico e conseqüente substituição das velas.

### 3.4 MONTAGEM DO DINAMÔMETRO

Um dinamômetro foi usado para medir o torque do sistema mecânico rotativo. Utilizou-se um dinamômetro fornecido pelo Laboratório de Engenharia Elétrica da FURB que opera em motores elétricos de corrente contínua, com base nos princípios do Freio de Prony. O dinamômetro contém um eixo rotacional preso a um volante de alumínio que é freado por eletromagnetismo e alimentado por uma tensão de 120 VDC e 0,8 A, tendo o eletroímã uma potência de 96 W. O equipamento foi adaptado para possibilitar sua aplicação no motor de combustão interna de ciclo Otto no aparato mecânico. Com as adaptações efetuadas no dinamômetro, o aparato mecânico não precisou de alterações na corrente de transmissão, na coroa de 42 dentes e no pinhão. O Quadro 3 relaciona as principais adaptações na montagem do dinamômetro no aparato mecânico.

Quadro 3: Principais adaptações e aquisições na montagem do dinamômetro

Descrição	Quantidade
Fabricação de flange para adaptação do dinamômetro à coroa.	1
Kit original coroa, pinhão e corrente.	1
Balança digital.	1
Transformador de tensão de corrente alternada em contínua, para alimentação do dinamômetro.	1
Parafusos e buchas de fixação no piso.	4

A Figura 7(a) mostra o transformador de tensão de corrente alternada (220VCA) para corrente contínua (120VCC) com estabilizador. Esse equipamento opera em tensões de até 120VCC e corrente máxima de até 0,8 A. A Figura 7(b) mostra a balança digital usada para a medida do peso, a partir do braço do dinamômetro. A Figura 7(c) mostra o estabilizador ajustável que alimenta o dinamômetro com uma tensão e uma corrente elétrica. A seta da Figura 7(c) indica o acionamento do sistema, tensão e corrente, simultaneamente. A chave (a) da mesma Figura 7(c) indica os potenciômetros de ajuste grosso e fino para a tensão e a chave (b) da mesma Figura 7(c) indica os potenciômetros de ajuste grosso e fino para a corrente elétrica. Na Figura 10(d) é possível ver o dinamômetro acoplado à coroa (acionado pela correia da moto) e na Figura 7(e) o pinhão do motor que transmite o movimento à corrente.

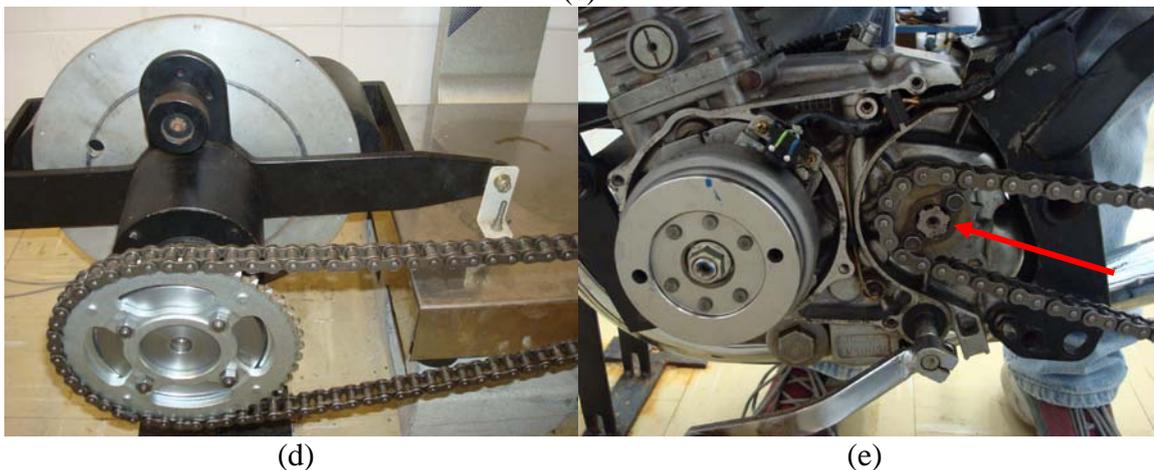
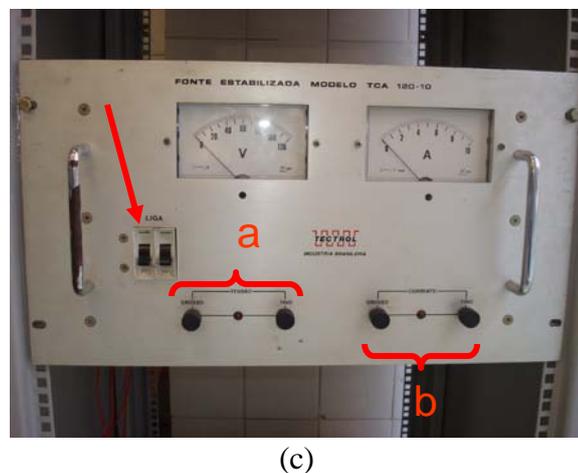


Figura 7: Dinamômetro. (a) Transformador completo. (b) Medidor de massas. (c) Fonte estabilizadora. (d) Dinamômetro acoplado à coroa dentada. (e) Pinhão do motor.

A Figura 8 mostra o dinamômetro completo, no qual o movimento, oriundo do pinhão (Figura 7(e)) do motor da moto (seta (a), Figura 8), aciona o movimento da corrente da moto. A corrente da moto é engatada na coroa (seta (d), Figura 8), levando-a a um movimento circular. A coroa, por sua vez, está presa a um eixo que ocasiona o giro livre do volante de

alumínio (seta (e), Figura 8) do dinamômetro. Nos períodos em que a marcha é desengatada (ponto morto), todo o sistema do dinamômetro permanece em repouso. A seta (g) da Figura 8 indica os cabos do sistema de alimentação elétrica oriunda da fonte estabilizadora. A tensão elétrica alimenta as bobinas (seta (f), Figura 8), as quais trabalham como ímãs temporários, freando o volante (seta (e), Figura 8) que proporciona a rotação na haste (seta (c), Figura 8). Na ponta da haste há um ponteiro encostado na balança (seta (b), Figura 8).

Quando uma das marchas é engatada e a fonte estabilizadora é ligada, o pinhão do motor aciona a corrente, a qual faz girar a coroa com a mesma velocidade angular do volante. Como a bobina causa uma leve frenagem no volante metálico com seus eletroímãs e o volante tende a manter seu estado inercial de movimento, este torce a haste fixa do freio eletromagnético. A haste possui 30 cm de comprimento e o ponteiro, localizado na extremidade da haste indicada pela seta (b), Figura 8, pressiona a balança digital, registrando uma unidade de massa. As Figuras 7(d) e Figura 8 retratam o mecanismo descrito.

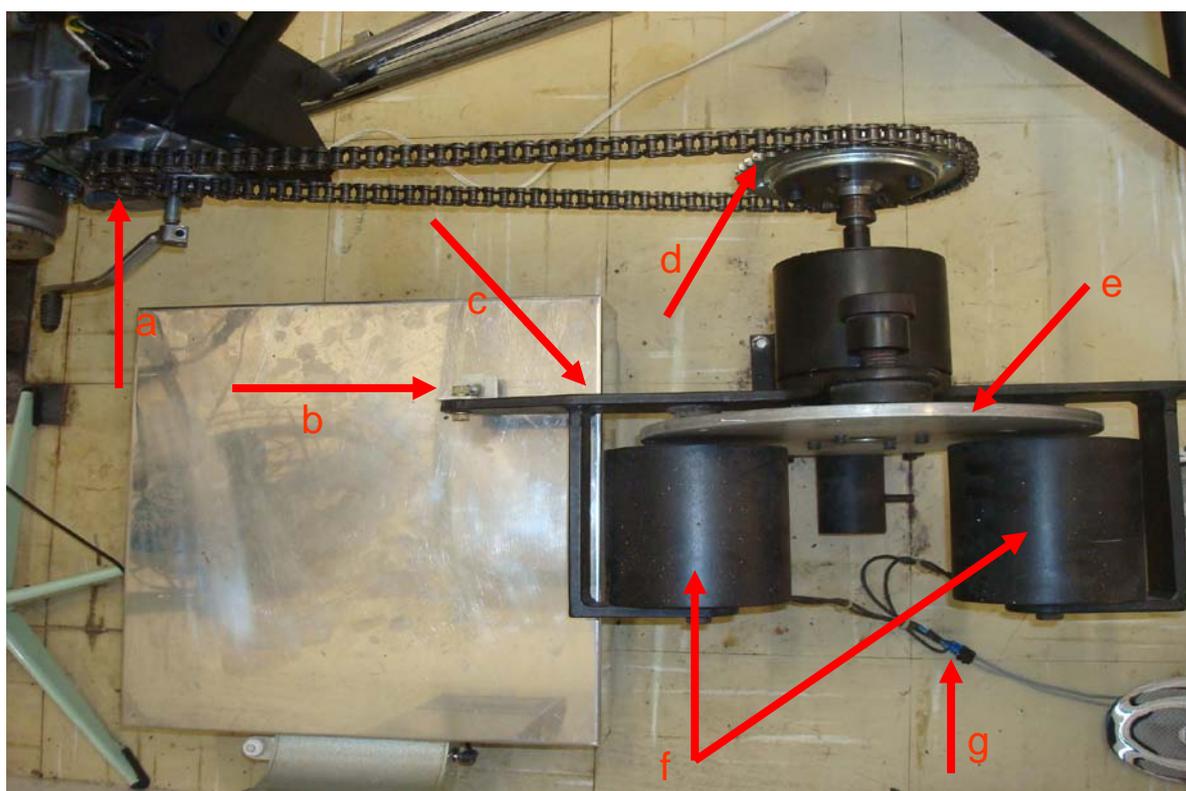


Figura 8: Dinamômetro completo.

### 3.5 MEDIDOR DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Para a alimentação de combustível no carburador, foram efetuadas algumas adaptações que visaram acompanhar e medir o consumo de combustível do motor. As Figuras 9(a) e 9(b), mostram a bureta utilizada no experimento como reservatório de combustível com capacidade máxima de 100 mL e de marca Laborglass. O combustível é introduzido na bureta e, por meio de uma mangueira siliconizada translúcida de diâmetro 2,1mm, transporta o combustível, por gravidade, para o interior do carburador, tal como retratam as Figuras 9(c) e 9(d). Com o acionamento do motor, o combustível é consumido, o nível de combustível da bureta diminui e, por intermédio de um cronômetro, registra-se, para cada 10 mL do volume consumido, o tempo entre os níveis, determinando-se dessa forma o consumo de combustível em função do tempo. Essa determinação permite com que seja feita a reposição do combustível, garantindo assim um fluxo contínuo de alimentação.

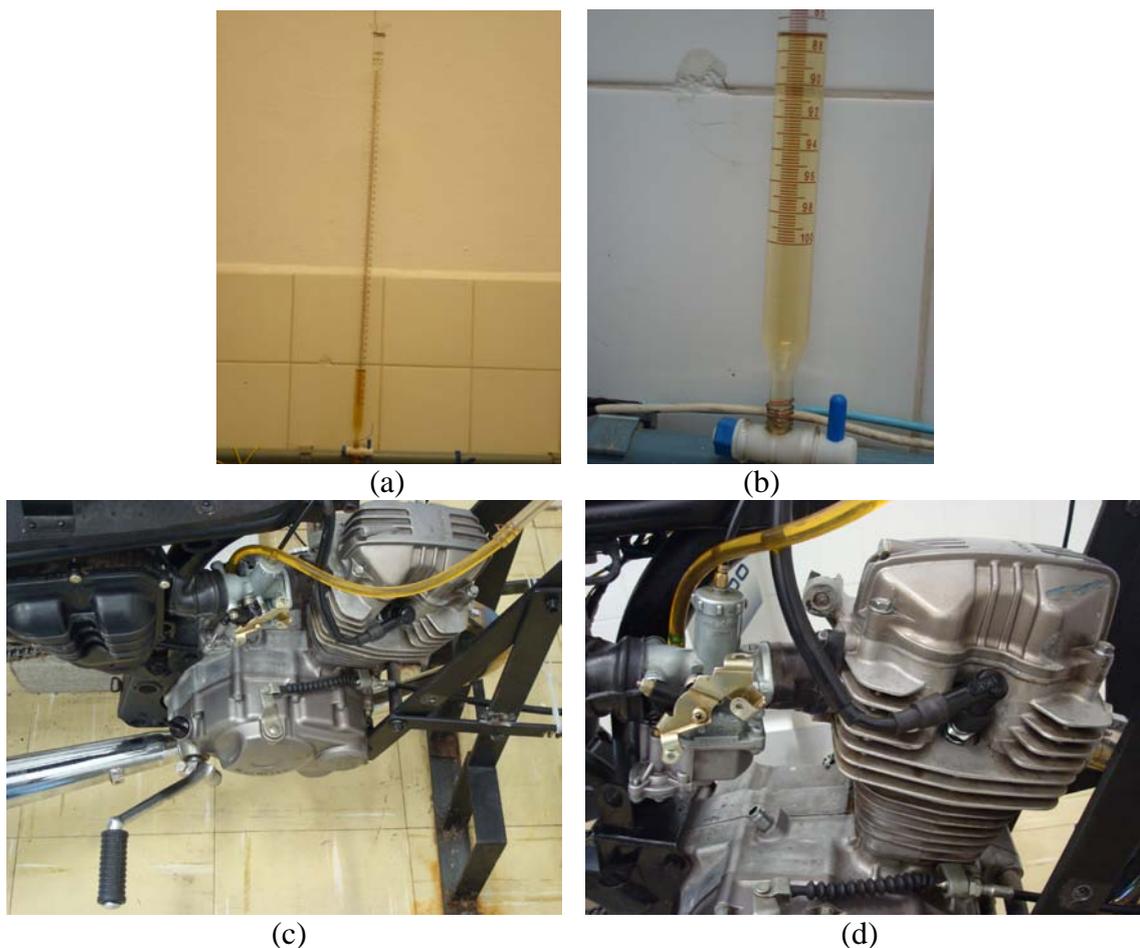


Figura 9: Sistema de alimentação de combustível. (a) Bureta em visão geral. (b) Bureta em visão parcial. (c) Carburador em visão geral. (d) Carburador em visão local.

### 3.6 CONTROLE DA TEMPERATURA DO MOTOR

Para controlar a temperatura do motor durante os experimentos, utilizou-se uma câmera infravermelha direcionada tanto para a saída do escapamento metálico de gases, quanto para as aletas frontais do motor de explosão interna. A câmera infravermelha da marca FLIR System modelo SD retratado na Figura 10, registra, por intensidade de cores, as regiões com as maiores e menores temperaturas do motor. A temperatura ambiente local manteve-se entre 18°C e 22°C, sendo monitorada durante os experimentos através de um termômetro laboratorial de mercúrio fixado próximo à parede, a 1,7m do piso.

Um ventilador portátil de marca Arno, diâmetro de 300 mm, 220 V foi utilizado para proporcionar o movimento do ar na parte frontal da moto de forma a minimizar o superaquecimento do aparato experimental. Como o aparato mecânico foi fixado no piso, demandava-se uma temperatura de operação de acordo com as normas estabelecidas pela Honda. Essa operação possibilitou simular fisicamente a moto em movimento, mesmo na ausência de aprofundamento da investigação desse parâmetro neste trabalho.



Figura 10: Câmera infravermelha

A câmera infravermelha monitorou as mudanças da temperatura do motor e do escapamento, com o objetivo de facilitar o controle do aumento da temperatura interna do motor além de evitar o superaquecimento durante os experimentos. A Figura 11 mostra algumas imagens do motor obtidas com a câmera infravermelha durante os experimentos, evidenciando o incremento da temperatura interna do motor ao longo do tempo de operação.

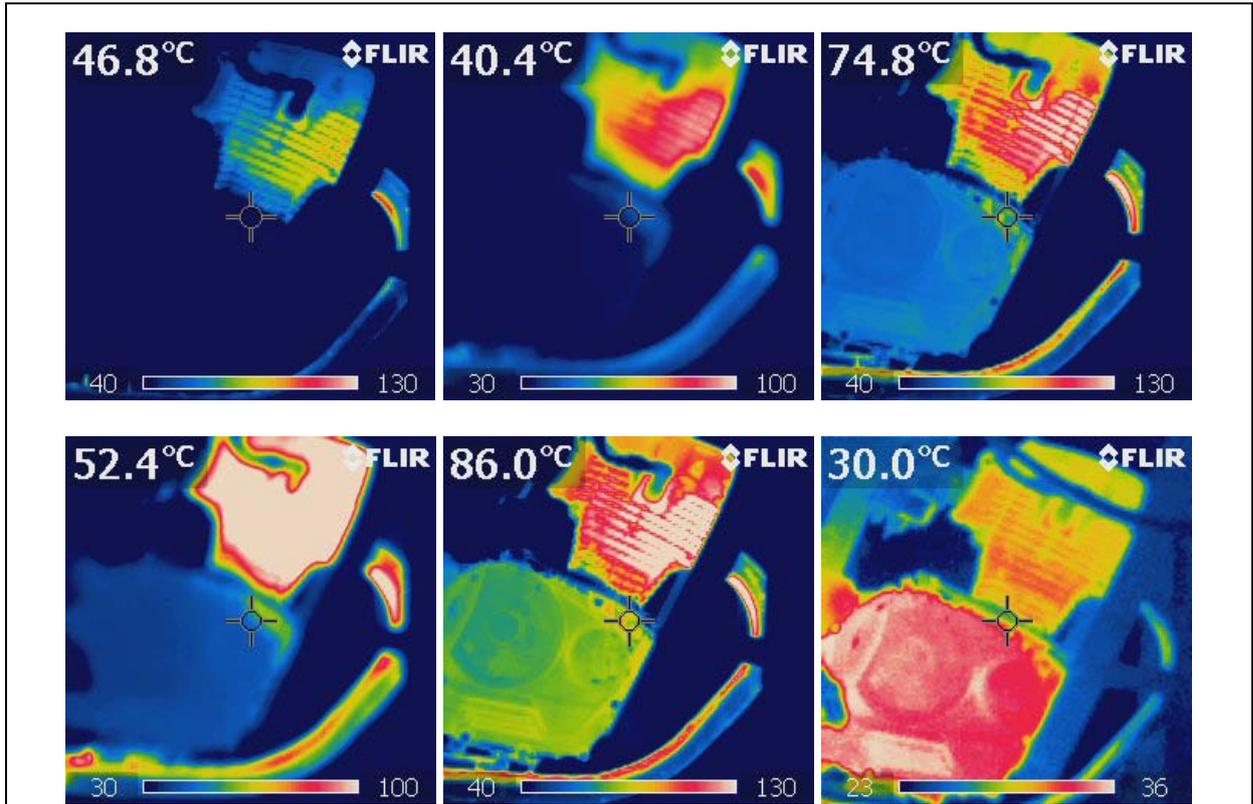


Figura 11: Fotos em infravermelho

### 3.7 CONTROLE DA ROTAÇÃO DO MOTOR

Para o controle das rotações do motor, utilizou-se um conta-giro analógico de até 11000 rpm, dispositivo específico das motos de marca Honda, modelo Twister. O conta-giro marca a rotação do motor por meio de pulsos elétricos oriundos do motor. O equipamento contém três entradas elétricas, com o cabo branco conectado no cabo de saída do rotor do motor da moto. O cabo preto, ligado na carga positiva da bateria (acumulador de carga), e o fio amarelo, ligado no negativo do acumulador de carga, transportam a energia necessária para a operação da moto (Figura 12).



Figura 12: Contagiro

### 3.8 MEDIDA DO TEMPO

Um cronômetro digital manual de marca Cássio, modelo HS-10W, foi utilizado para o registro do tempo de consumo de combustível, tendo como tanque de alimentação uma bureta. Além disso, o cronômetro foi utilizado também para a medida do tempo de operação de cada experimento.

### 3.9 MEDIDA DO CONSUMO

O consumo foi medido em triplicata em todos os experimentos. Foi fixado na parede uma bureta como tanque de alimentação do combustível e com a ajuda do cronômetro e com o motor operando numa rotação constante de 2000 rpm ou 4000 rpm, cronometrou-se o tempo de consumo do volume do combustível previamente estabelecido (10 mL). Com o volume conhecido, em função do tempo de operação, calculou-se o consumo em mililitros por minuto (mL/min). A medida do consumo demandava a estabilidade do motor da moto em função da rotação.

### 3.10 MEDIDA DO TORQUE

As medições do torque foram realizadas depois da medição do consumo. Para a regulagem da rotação do motor utilizou-se uma chave Philips, procedimento repetido em todas as marchas e rotações incluídas nos ensaios experimentais.

Com a balança tarada, o estabilizador de tensão de alimentação do dinamômetro foi conectado ao sistema da rede elétrica. Procedeu-se a regulagem da tensão a 120V e da corrente a 0,8A. Para iniciar-se o experimento, procedeu-se o engate da marcha desejada, regulando-se a rotação lenta até a estabilização do motor. Uma vez estabilizada a rotação do motor, o torquímetro entra em equilíbrio dinâmico de forças, marcando uma unidade de massa na balança digital através do ponteiro fixado no extremo da haste fixa do dinamômetro. Com a massa conhecida, o torque comparativo entre os diferentes experimentos pôde ser determinado pela equação do Torque (ver Quadro 1), relacionando a Força (massa indicada pela balança digital) e a distância de 0,3 m (entre a haste presa ao centro do dinamômetro e o ponteiro). O procedimento repetiu-se para as 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> marchas, a 2000 rpm e a 4000 rpm, independentemente do combustível usado no ensaio.

### 3.11 MEDIDA QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS GASES EXHAURIDOS

Ao término da coleta de dados com torque de 4000 rpm, procedeu-se a coleta e análise de amostras dos gases por meio da sonda (acoplada a um orifício na tubulação de escape) e do software (sendo executado), ambos do cromatógrafo gasoso. Engatou-se o ponto morto da moto, desconectando assim o sistema de tração. Ajustou-se a rotação em 2000 rpm no parafuso de regulagem da lenta. Em seguida, iniciou-se a coleta dos gases através da sonda inserida em um orifício na saída do escapamento, por um intervalo de até 10 minutos. Concluído esse primeiro ensaio, ajustou-se a rotação para 4000 rpm e coletaram-se novos dados para a nova condição de operação. Os dados coletados foram representados graficamente, relacionando-se a fração volumétrica (volume do gás dividido pelo volume total dos gases multiplicado por 100%), para os combustíveis empregados.

Dada a quantidade limitada de biogasolina disponível para a execução dos experimentos, não foi possível avaliar as emissões gasosas para todos os combustíveis, tendo-se priorizado as seguintes combinações: a) gasolina podium (G100); b) BG20 e c) BG30. Com a descrição feita, observa-se que foram excluídas as combinações intermediárias BG10, BG15 e BG25 das misturas previamente preparadas.

Com a conclusão dos ensaios experimentais, procedeu-se a análise dos dados dos cromatogramas das misturas avaliadas, procedendo-se a sua comparação com os dados oriundos do gás padrão, como estratégias para se averiguar as características das emissões gasosas oriundas das misturas dos combustíveis usados em cada ensaio experimental. O gás padrão utilizado foi adquirido pelo IPTB junto a White Martins, conservado num cilindro de 0,38 m<sup>3</sup> e 48,6 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão, que, de acordo com sua caracterização é composto por uma mistura baseada nos gases descritos na Tabela 8.

Tabela 8: Composição do gás padrão

Propano	1,7%
Metano	89,1%
Etano	6,5%
Dióxido de carbono	0,38 %
Nitrogênio	1,1%
Isobutano	0,15%
Butano	0,3 %
Isopentano	75 ppm
Pentano	679 ppm
Hexano	499 ppm

Na Tabela 8 visualiza-se que o gás padrão utilizado nesta análise concentra essencialmente metano com 89,1% e etano com 6,5%. Mesmo considerando a baixa concentração de Dióxido de Carbono (0,38%) nesta mistura, este gás exerce forte influência sobre o efeito estufa. Por isto, na análise dos resultados obtidos far-se-á um estudo comparativo de forma a se averiguar a concentração deste gás com a incorporação da biogolina na gasolina podium, como descrito ao longo deste trabalho.

### 3.12 ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DOS GASES DE COMBUSTÃO

Ensaio de análise cromatográfica foram realizados com o intuito de se determinar as composições dos gases de combustão das misturas de biogolina e comparar os resultados com aqueles obtidos da combustão da gasolina Podium. Para este procedimento metodológico, utilizou-se um micro-cromatógrafo gasoso portátil da marca CHROMPACK, modelo CP 2002 P, gentilmente cedido pelo IPTB da FURB, acoplado a um micro-computador (Figura 13).



Figura 13: Micro-cromatógrafo gasoso.

Procedeu-se a coleta de amostras dos gases de combustão por meio de uma sonda de 10 microlitros de volume, introduzida na saída do escapamento original da moto, como mostra a Figura 14(a). A sonda foi acoplada ao micro-cromatógrafo gasoso, o qual injeta 200 nanolitros de gás nas colunas. A coluna utilizada foi HayeSep A, que é um suporte sólido e adsorvente composto por divinil benzeno (DVB) e etilenoglicoldimetacrilato (EGDM) que pode separar oxigênio, metano, etano, propano, acetileno, etileno e gases sulfurosos, em uma temperatura máxima de operação de 165°C com polaridade de nível 7 (nível 1 como mínima e 10 como máxima). O Quadro 4 especifica as condições de operação da coluna.

Quadro 4: Coluna HayeSep A

Temperatura da coluna	30°C
Tempo de injeção	40 ms
Sensibilidade de detecção	Média
Pressão da amostra	100 kPa
Tempo da amostra	5 s
Tempo de trabalho	60 s
Pressão da coluna	80-160 kPa

A Figura 14(b) mostra o micro-computador utilizado no experimento e a Figura 14(c) o aparato utilizado para a análise dos gases de combustão. A caracterização foi feita de forma simultânea, possibilitando a plotação dos parâmetros físicos avaliados diretamente no micro-computador. A Figura 14(d) mostra a sonda utilizada para coleta de gases, a qual foi introduzida no orifício do escapamento e vedada com uma fita adesiva para evitar a dissipação de gases no laboratório. A Figura 14(e) e 14(f) mostram o ponto de introdução e a posição da sonda na estrutura do escapamento em condições adequadas para a coleta e caracterização dos gases. O equipamento utilizado possibilitou a identificação do monóxido de carbono, metano, etano e propano nos gases de exaustão para os ensaios realizados.

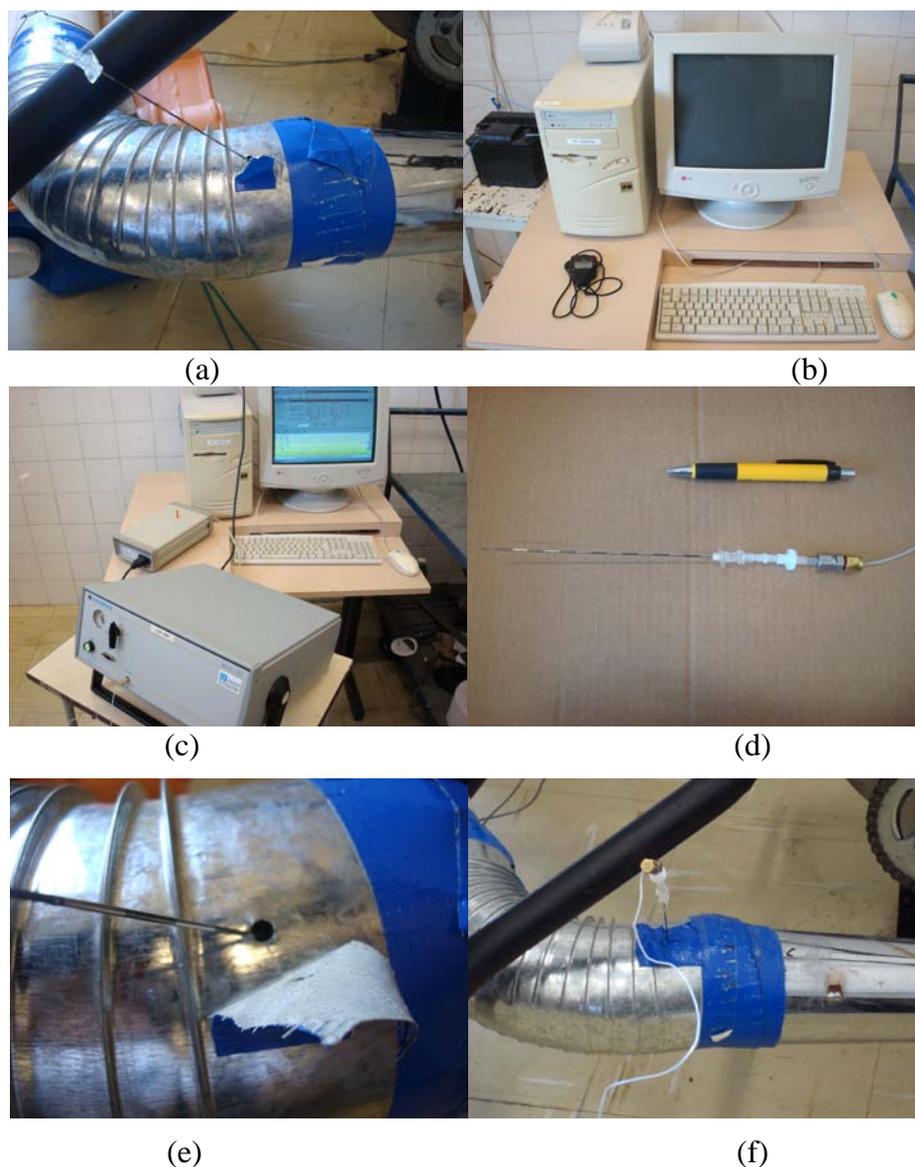


Figura 14: Sistema de aquisição de dados. (a) Sonda na entrada do escapamento. (b) Computador para coleta de dados. (c) Cromatógrafo acoplado ao computador. (d) Sonda. (e) Orifício para entrada da sonda no escapamento. (f) Sonda fixada no escapamento.

### 3.12.1 Parâmetros de análise da biogasolina

A biogasolina foi caracterizada segundo procedimento experimental desenvolvido por Wisniewski (2008), tendo como base os parâmetros metodológicos descritos a seguir e os resultados são apresentados no trabalho em desenvolvimento do autor.

- a) Determinação da Massa específica: Método Picométrico, ASTM D 4052;
- b) Determinação do Índice de Acidez: ASTM D974;
- c) Determinação do Teor de água por Karl Fisher: ASTM D 6304-07;

- d) Determinação do Teor de Enxofre: ASTM D 4294;
- e) Determinação da Curva de Destilação: ASTM D 86;
- f) Determinação da Pressão de Vapor: ASTM D 5191;
- g) Análise dos gases por CG-DIC (PIONA);
- h) Análise dos gases por CG-DCE;
- i) Análise dos gases por CG-EM.

### 3.13 PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS

Para a execução dos experimentos de performance do motor do aparato mecânico e coleta das taxas de emissões gasosas, usou-se biogasolina oriunda de óleo de peixe. Os materiais e métodos utilizados no experimento estão relatados neste capítulo.

Os experimentos foram executados de acordo com a seqüência expressa no Quadro 4, utilizando-se Gasolina Podium (G100), seguida de BG10, BG15, BG20, BG25 e BG30. Os experimentos foram executados em triplicata para aferir a reprodutibilidade.

Nos experimentos de performance mecânica, em função do consumo, o motor apresentou instabilidade rotacional, isto é, o motor não mantinha a rotação desejada por mais de 10 segundos, dificultando a coleta de dados, o que inviabilizou a coleta de dados de consumo para os combustíveis BG10 e BG20.

Nos ensaios de emissões gasosas foram utilizados os combustíveis seguintes: gasolina Podium (G100), BG20 e BG30. Não foi possível efetuar os ensaios com os combustíveis BG10, BG15 e BG25 dada a indisponibilidade de biogasolina necessária para a efetividade dos experimentos, tendo-se priorizado os seguintes combustíveis: gasolina Podium por ser o combustível de referência, BG20 por ser uma mistura intermediária entre as diversas combinações e a BG30 por ser o combustível de maior porcentagem da biogasolina entre as misturas avaliadas. No Quadro 5 estão descritos todos os experimentos realizados e os parâmetros associados e explorados para cada ensaio experimental. Registra-se que o quadro referenciado foi elaborado mediante planejamento experimental realizado depois da montagem do aparato experimental.

Quadro 5: Seqüência de execução dos experimentos

<b>Seqüência de experimentos</b>	<b>Experimento</b>	<b>Rotação</b>	<b>Marcha</b>
01	Consumo	2000	Ponto morto
02	Torque	2000	Primeira
03	Torque	2000	Segunda
04	Torque	2000	Terceira
05	Torque	2000	Quarta
06	Torque	2000	Quinta
07	Consumo	4000	Ponto morto
08	Torque	4000	Primeira
09	Torque	4000	Segunda
10	Torque	4000	Terceira
11	Torque	4000	Quarta
12	Torque	4000	Quinta
13	Emissões gasosas	2000	Ponto morto
14	Emissões gasosas	4000	Ponto morto

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a biogasolina cedida pelo Departamento de Engenharia Química da FURB, foi possível realizar-se os ensaios experimentais que viabilizaram a análise do desempenho do motor com composições variadas da biogasolina e gasolina Podium, como descrito na metodologia. Neste capítulo estão descritos os resultados experimentais obtidos, os quais são cientificamente discutidos e comparados com dados da literatura.

### 4.1 OPERAÇÃO DA MOTOCICLETA

Com a estruturação do aparato experimental descrito na metodologia, procedeu-se a realização dos ensaios de operação da moto de forma a se averiguar a sua qualidade operacional referente à estabilidade mecânica, ignição, ruído, qualidade da combustão, qualidade visual das emissões, entre outros. Essa avaliação preliminar foi de fundamental importância, pois possibilitou avaliar o impacto da biogasolina que, quando comparada com a gasolina comum e a gasolina Podium, incorpora grandes frações de olefinas e aromáticos, pequenas frações de parafinas, componentes oxigenados em proporções reduzidas, além de apresentar grandes quantidades de materiais desconhecidos (Wisnievski, 2008).

Como descrito acima, a biogasolina contém grandes frações de olefinas (superiores às frações de olefinas encontradas na gasolina Podium), cujos componentes proporcionam aumento da octanagem, tornando-se um excelente combustível para motores de combustão interna por centelha. A grande restrição decorrente da presença desses componentes deve-se à reação destes com o oxigênio além da facilidade da formação de resíduos e borras indesejáveis. Além do mais, as olefinas podem unir-se com o hidrogênio formando parafinas, fenômeno que reduz a octanagem da biogasolina. Depois de 40 minutos de operação nos ensaios realizados com 10, 15, 20, 25 e 30% de biogasolina, a câmara de combustão foi aberta, tendo-se observado a formação de borras conforme a Figura 15.

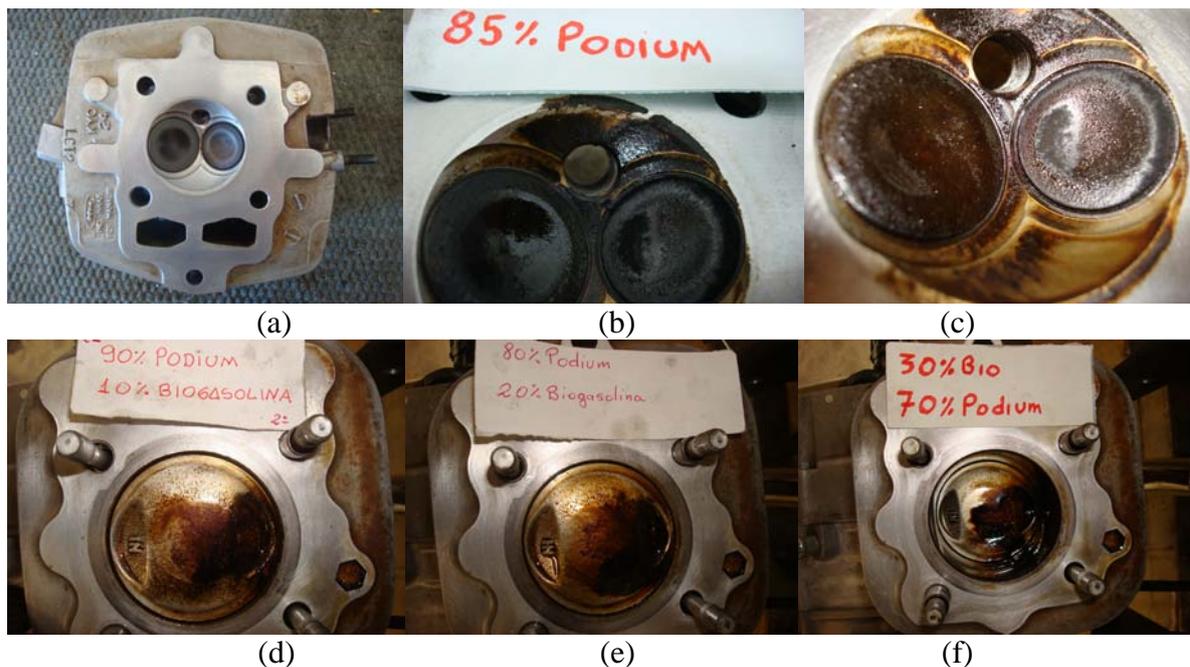


Figura 15: Estado do motor. (a) Cabeçote limpo. (b) Cabeçote BG15 escuro. (c) Cabeçote BG15 claro. (d) Pistão BG10. (e) Pistão BG20. (f) Pistão BG30.

A Figura 15(a) mostra as válvulas limpas antes do funcionamento do motor; as Figuras 15(b) e 15(c) mostram respectivamente as válvulas após os experimentos (uma hora de operação) com BG15 e BG25. A Figura 15(d), 15(e) e 15(f) mostram as cabeças dos pistões após os experimentos com BG10, BG20 e BG30, respectivamente, as quais apresentaram incrustações oleosas escurecidas de alta fixação e de aspecto diferente daquelas presentes nos motores que utilizam gasolina.

As análises físico-químicas da biogasolina realizadas por Wisniewski (2008) mostraram concentrações de aromáticos similares àquelas presentes na gasolina A<sup>3</sup> e maiores que as da gasolina C<sup>4</sup>. Como os aromáticos são quimicamente mais estáveis que outros componentes insaturados, sendo mais resistentes que os iso-octanos, é possível que a auto-ignição proporcione aumento da octanagem, sendo, portanto, indicados para uso em motores de ignição por centelha. A biogasolina possui baixa concentração, em volume, de naftenos (6,07), enquanto que a gasolina C (16,26) e a gasolina A (19,86) apresentam concentrações maiores. A baixa concentração de aromáticos proporciona a formação de borra e aumento da octanagem (Wisniewski, 2008).

A Figura 16(a) mostra a tubulação de passagem de ar-combustível do carburador onde, perpendicularmente, formou-se uma delgada película de polímero e a Figura 16(c)

<sup>3</sup> Gasolina produzida em refinarias ou petroquímicas isentos de álcool.

<sup>4</sup> Gasolina comercializada nos postos de serviços, e que recebe a adição de álcool anidro nas distribuidoras, no percentual determinado pela Legislação Federal.

polímeros que se formaram nas juntas do carburador. A Figura 16(b) mostra a carbonetação da vela de ignição após uma hora de funcionamento do motor, utilizando BG10. As Figuras 16(d) e 16(e) mostram polímeros formados no interior da cuba do carburador após o combustível, a biogasolina, ter permanecido parado por 60 dias. A Figura 16(f) mostra, na saída do carburador, uma fuligem de cor de chumbo que acumulou depois de 6 horas de funcionamento, durante os ensaios de pré-testes.

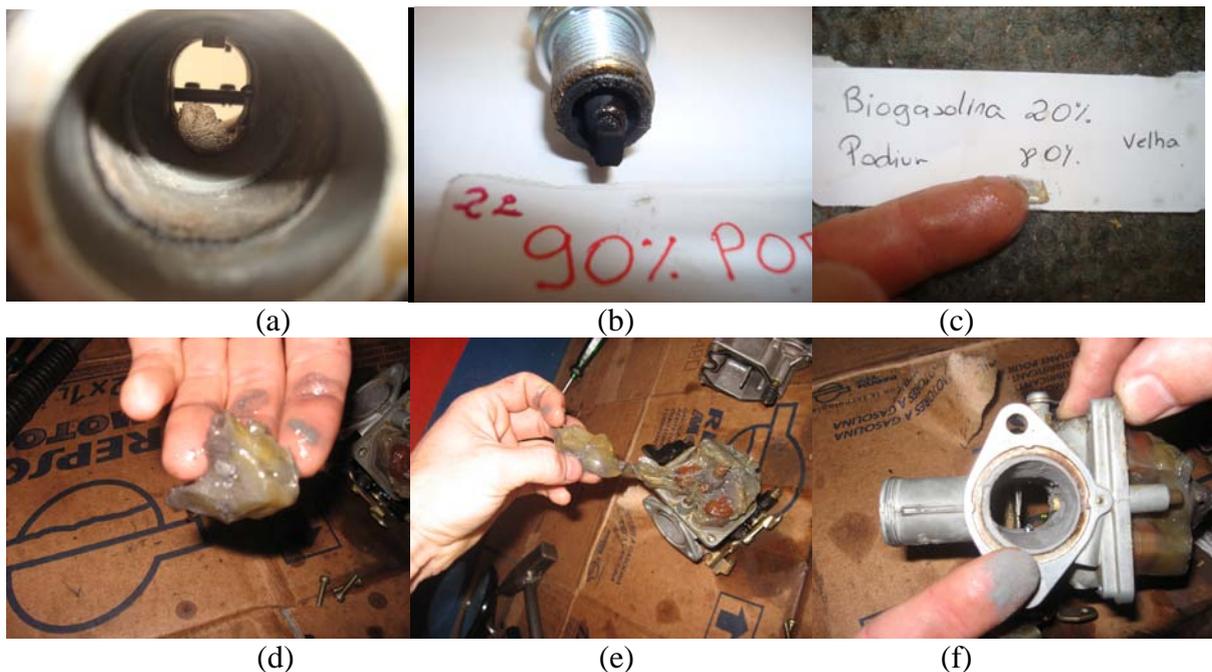


Figura 16: Materiais desconhecidos. (a) Tubo ar-combustível do carburador. (b) Vela BG10. (c) Material desconhecido BG20. (d) Material desconhecido amarelo. (e) material desconhecido na bóia. (f) Material desconhecido da entrada de ar do carburador.

Em função de substâncias indesejadas que foram identificadas durante os ensaios, o motor apresentou uma instabilidade rotacional, permanecendo apenas por instantes nas rotações desejadas. Os experimentos levaram mais tempo do que o esperado, dada a necessidade permanente de regulagens na lenta. Quando o motor mostrava-se estabilizado por alguns segundos, os dados, posteriormente analisados ao longo deste trabalho, eram coletados.

O motor da motocicleta, mesmo apresentando perdas de rotações e incrustações, operou de forma positiva durante todos os ensaios mecânicos e de combustão. Os ruídos emitidos pelo motor, comando de válvulas e escapamento eram os de uma moto normal, operando com combustível fóssil. Quando em alta rotação, observou-se um funcionamento melhor que o original. Durante os ensaios com biogasolina, o motor não apresentou dificuldades na ignição, mesmo após longos períodos de inatividade. O desligamento e o

religamento do motor após minutos de operação mostrou-se eficaz e não demandou qualquer esforço adicional para a sua operação.

#### 4.2 PERFORMANCE MECÂNICA EM FUNÇÃO DO TORQUE

A operação da moto com a composição dos combustíveis descritos no Quadro 4 possibilitou avaliar o torque a 2000 rpm.

Com o motor alimentado pelos seis diferentes combustíveis, foi efetuada a coleta de dados do torque a uma rotação de 2000 rpm. A Figura 17 mostra os dados da performance mecânica do motor, em função do torque, com rotação permanente de 2000 rotações por minuto, para cada tipo de combustível (BG10, BG15, BG20, BG25 e BG30), nas cinco diferentes marchas (começando com a primeira e terminando com a quinta marcha).

Para todas as combinações dos combustíveis, a análise qualitativa da Figura 17 possibilita identificar um aumento do torque proporcional ao incremento das marchas, isto é, a primeira marcha apresentou o menor torque e a quinta marcha apresentou o maior. Isso ocorre dado o momento torçor ou torque ser influenciado positivamente pela velocidade angular, com comportamento característico de operação de um motor, conforme dados gráficos (Quadro 1). Não se observou alterações significativas no torque medido experimentalmente, salvo pequenas quedas, possivelmente decorrentes das incrustações identificadas na cabeça do pistão, nas paredes do carburador e na vela de ignição, que dificultou a operação de combustão. Com o combustível BG10 na quinta marcha, possivelmente, ocorreu um erro experimental que não pode ser feito dada a quantidade limitada de biogasolina disponível para cada ensaio experimental, como descrito ao longo deste trabalho.

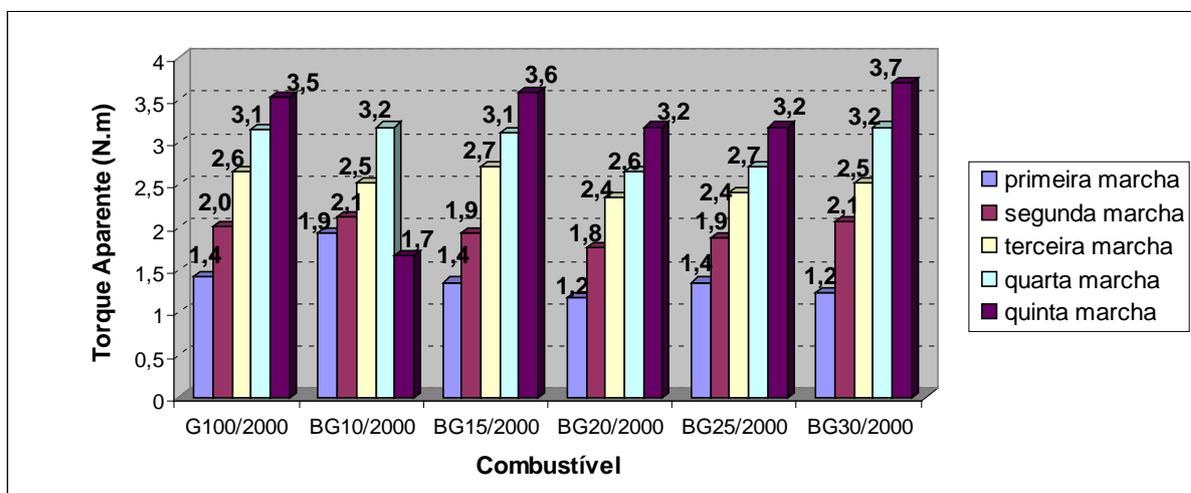


Figura 17: Torque 2000 rpm

A Figura 18 mostra os dados da performance mecânica do motor, em função do torque, com rotação permanente de 4000 rotações por minuto, para cada tipo de combustível (BG10, BG15, BG20, BG25 e BG30), nas cinco diferentes marchas (começando com a primeira e terminando com a quinta marcha). Para todas as marchas testadas, a análise da Figura 18, mostra que a adição da biogasolina na gasolina Podium resultou num aumento de torque com a biogasolina. O aumento do torque é mais acentuado para as combinações BG10 e BG25, o que pressupõe o uso da biogasolina testada como um aditivo da gasolina, em potencial, capaz de aumentar a potência dos motores de combustão.

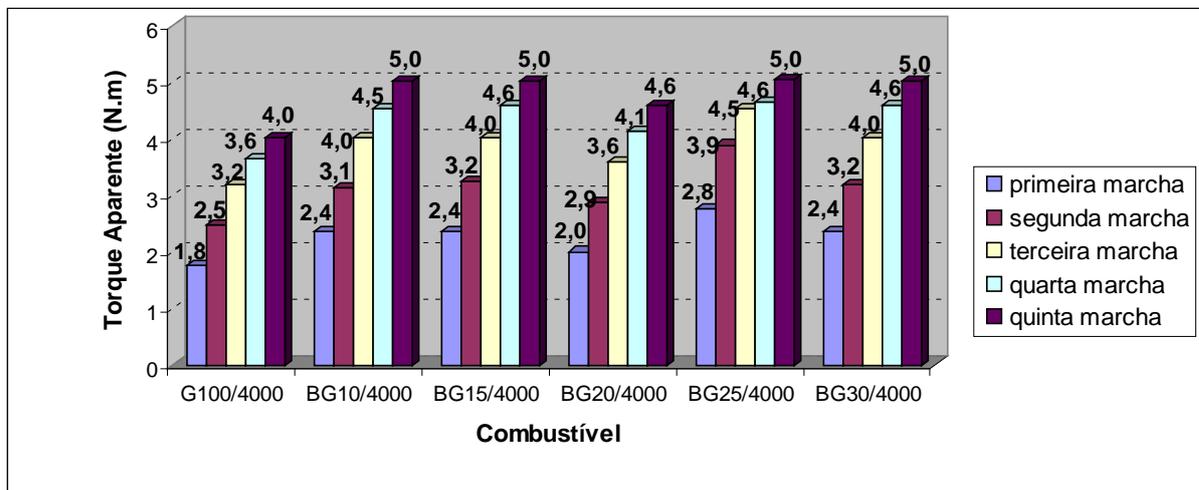


Figura 18: Torque 4000 rpm

Os resultados obtidos para as combinações BG20 e BG30 mostram um incremento do torque, em relação à gasolina Podium, mas em proporções menores que as demais combinações testadas.

Nas Figuras 17 e 18, o aumento do torque observado para as marchas mais altas, com a rotação constante do motor, se dá pela relação do conjunto de engrenagens na caixa de marcha. O aumento das marchas ocasiona um aumento na rotação do pinhão da moto (Figura 7 (e)), incrementando as velocidades tanto tangenciais, quanto angulares, resultando em uma alteração do torque. A equação da potência do motor está diretamente ligada com a rotação do pinhão (MELCONIAN, 1999).

### 4.3 PERFORMANCE MECÂNICA EM FUNÇÃO DO CONSUMO

Durante os ensaios de consumo, o motor apresentou instabilidade rotacional, como mencionado no item 3.13, não sendo possível a coleta de dados para os combustíveis BG10 e BG20. A Figura 19, mostra a performance do motor operando com gasolina Podium, BG15, BG25 e BG30, a rotações de 2000 rpm e 4000 rpm. Para todos os ensaios realizados, observou-se que, independente da composição do combustível usado, o consumo aumentou com o incremento da rotação. Para a mesma rotação, a adição da biogasolina na gasolina Podium resultou no aumento do consumo e aumento do torque do motor, como descrito na seção anterior. O consumo aumentou independentemente do combustível e com maior intensidade com a presença da biogasolina.

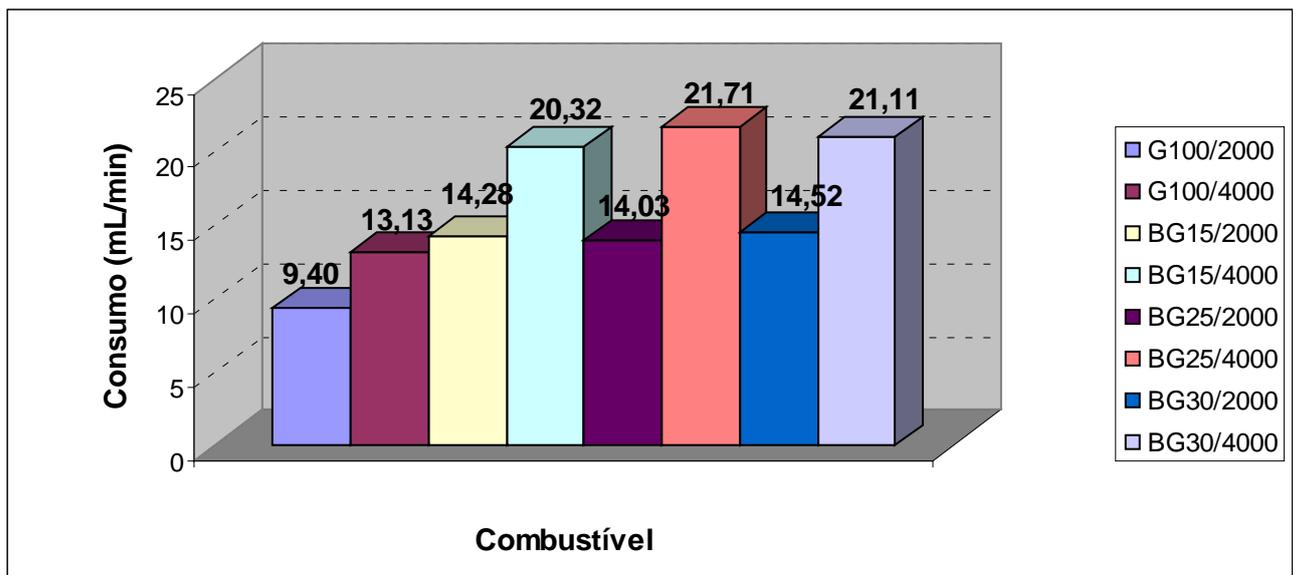


Figura 19: Consumo de combustível

O sistema de alimentação da moto CG 125 cc., funciona com o auxílio do carburador que é encarregado de misturar o ar e o combustível na proporção exata e na quantidade certa, desde as rotações mais baixas até as mais altas (VOLKSWAGEM, 1989). O funcionamento do carburador, por sua vez, ocorre mecanicamente através da sucção devida ao vácuo formado pelo êmbolo do cilindro do motor no tempo de admissão, o qual depende da rotação do motor. O aumento do consumo de combustível com a presença da biogasolina ocorreu em função dos ajustes necessários do parafuso de rotação para o controle da rotação a 2000 e 4000 rpm. Para manter as rotações desejadas, foi necessário uma maior abertura do fluxo de combustível no carburador, ocasionando maior consumo. O ajuste necessário foi similar para os combustíveis

BG15, BG25 e BG30, mostrando uma pequena variação de consumo com o incremento de biogasolina nas misturas.

#### 4.4 EMISSÕES GASOSAS

Os gases de combustão são decorrentes da reação dos combustíveis na câmara de combustão com o oxigênio, produzindo os gases  $\text{CO}_2$ , HC, CO,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , entre outros. Nesta seção busca-se avaliar a quantidade de emissões dos gases de combustão oriundos dos combustíveis testados para esse trabalho, averiguando a influência da concentração de biogasolina e da rotação sobre as taxas de emissões gasosas. O acoplamento do micro-cromatógrafo ao sistema de exaustão da moto teve como limitação a caracterização somente do  $\text{CO}_2$ , metano, etano e propano, cujas frações são avaliadas na seqüência deste trabalho de pesquisa.

A coleta dos gases foi efetuada nos ensaios com rotações a 2000 e 4000 rpm, sem a ação de qualquer marcha (ponto morto). Os combustíveis empregados nas operações de coleta de gases foram a gasolina Podium, BG20 e BG30. As misturas BG10, BG15 e BG25 não foram coletadas conforme mencionado no item 3.13.

Os índices dos gases obtidos pelo micro-cromatógrafo com frações volumétricas inferiores a 0,005 foram considerados nulos.

A Figura 20 descreve o cromatograma do gás padrão utilizado na coluna cromatográfica HayeSep A que separa o oxigênio, nitrogênio, metano, etano, propano, dióxido de carbono, acetileno, etileno e gases sulfurosos, em uma dada escala de tempo. Observam-se, neste cromatograma, os picos representativos de dióxido de carbono (0,43 minutos) e de hidrocarbonetos (metano 0,139 e etano 0,757 minutos), principais componentes presentes nos gases de combustão. Os dados descritos aqui se assemelham com aqueles presentes na Tabela 8 na qual se observa grandes concentrações de metano e pequenas concentrações de dióxido de carbono.

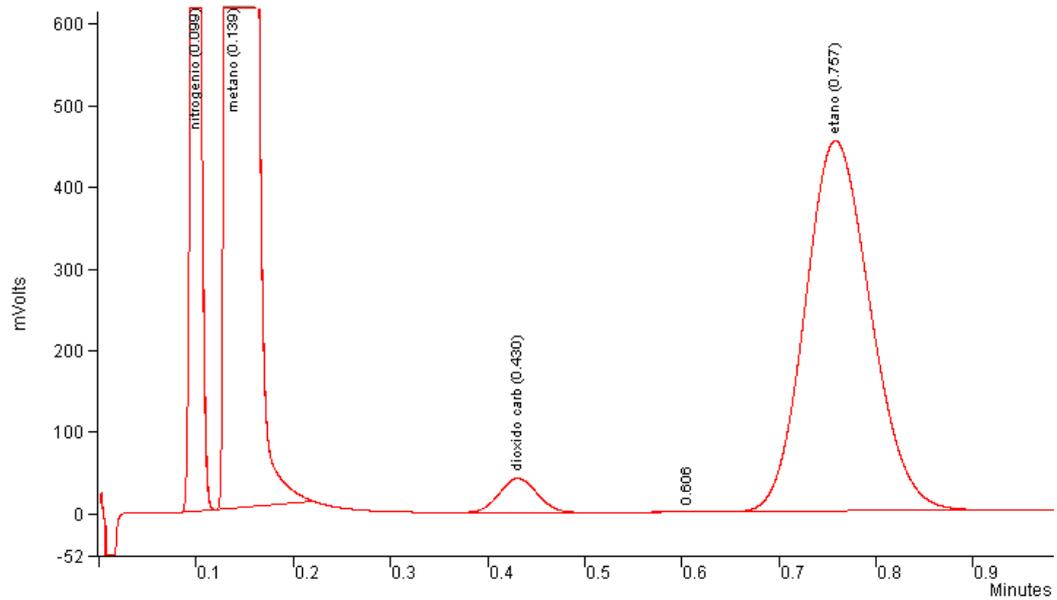


Figura 20: cromatograma do gás padrão.

A Figura 21 representa o cromatograma do ar local no início dos experimentos para calibração do micro-cromatógrafo gasoso utilizado. Nesta figura observa-se grande concentração de nitrogênio característico do ar e conseqüente presença de dióxido de carbono no ambiente de instalação do equipamento usado nestes experimentos.

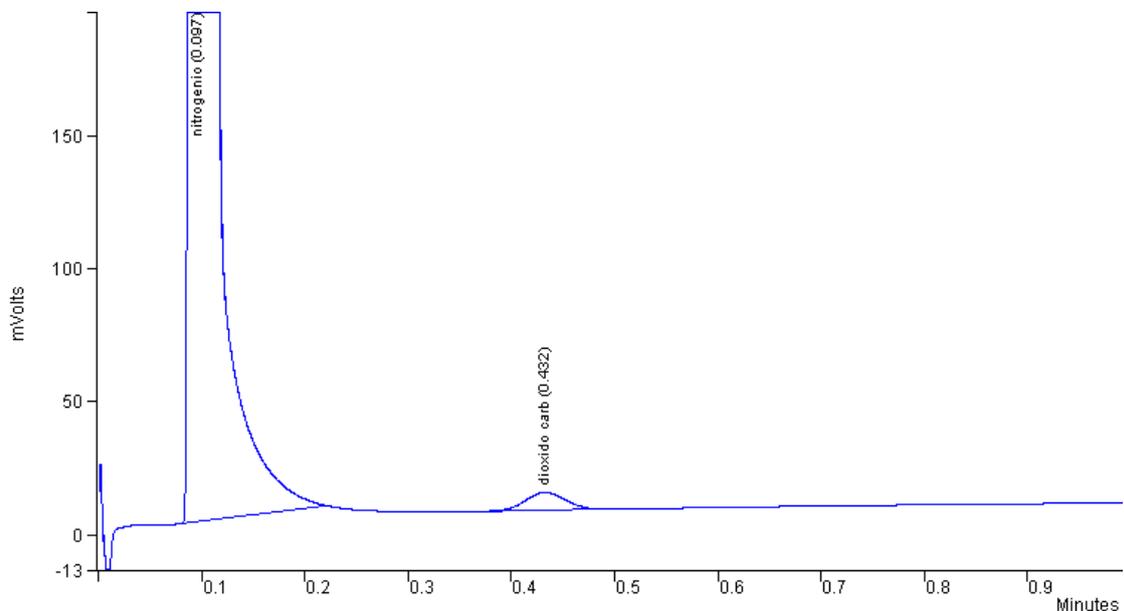


Figura 21: Cromatografia do ar local.

A Figura 22 descreve a cromatografia da gasolina Podium quando da operação do motor com uma rotação de 4000 rpm em ponto morto. Nesta análise observa-se aumento

significativo de dióxido de carbono decorrente das características do combustível utilizado, nesta análise, capaz de emitir grandes concentrações deste gás. A literatura tem mostrado o impacto do uso de combustíveis fósseis nas emissões de dióxido de carbono, gás com grande impacto sobre o meio ambiente, principalmente sobre o efeito estufa. A análise dos gases destes combustíveis possibilita também identificar a presença significativa de hidrocarbonetos nos gases exauridos, na mesma proporção da amostra padrão.

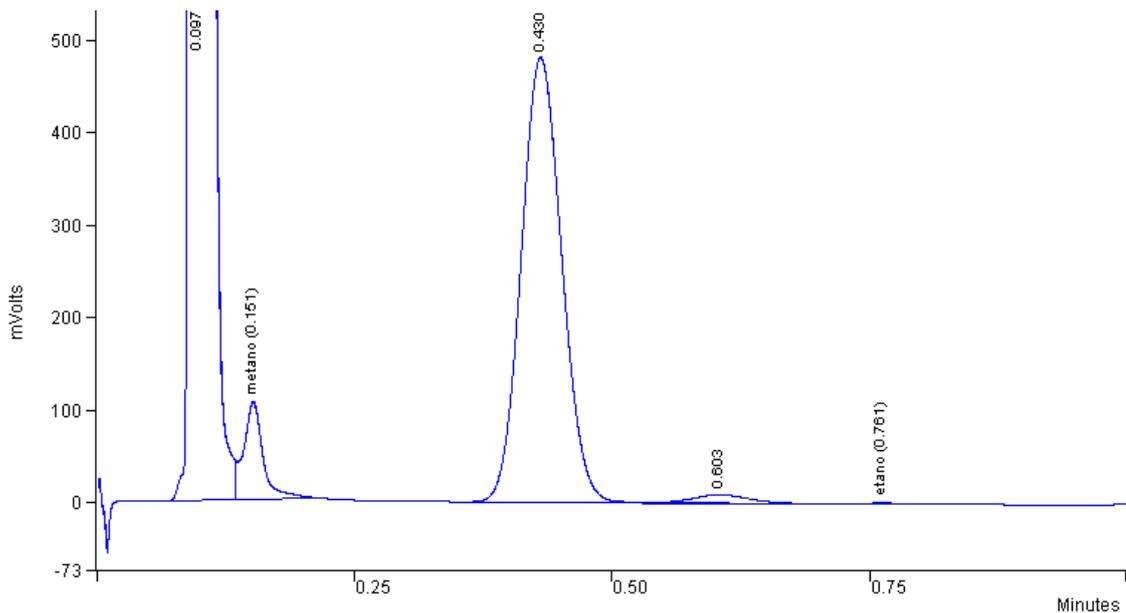


Figura 22: Cromatograma da gasolina Podium a 4000 rpm.

A presença da biogasolina na gasolina reduz, em quantidade, as emissões identificadas quando da análise dos gases oriundos da combustão da gasolina podium. Como se observa na Figura 23 que descreve o cromatograma do combustível BG20 com o motor acionado a 4000 rpm em ponto morto, os picos dos principais gases avaliados neste trabalho são menores. Este resultado possibilita entender as principais razões que levam ao desenvolvimento de biocombustíveis como alternativos ao uso de combustíveis fósseis pois apresentam baixo impacto das emissões gasosas.

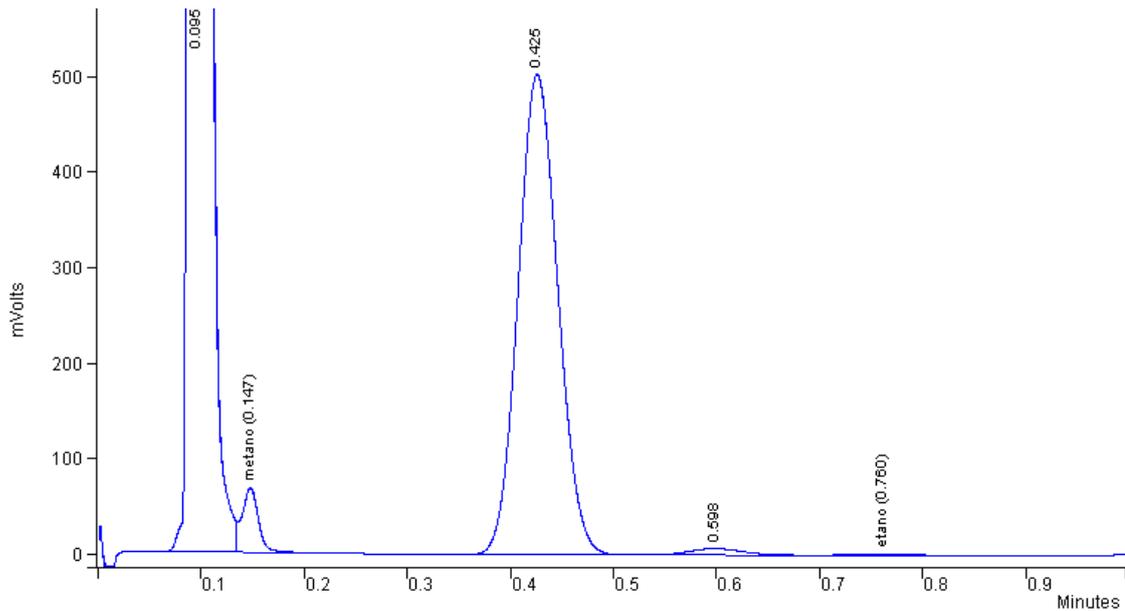


Figura 23: Cromatografia da BG20 a 4000 rpm.

O incremento da massa de biogasolina na gasolina podium, isto é, trabalhando-se com BG30, o cromatograma foi descrito com base nos dados experimentais oriundos da operação com o motor a 4000 rpm e em ponto morto, mostra comportamento similar, mas com maior redução das emissões dos gases analisados ao longo deste trabalho.

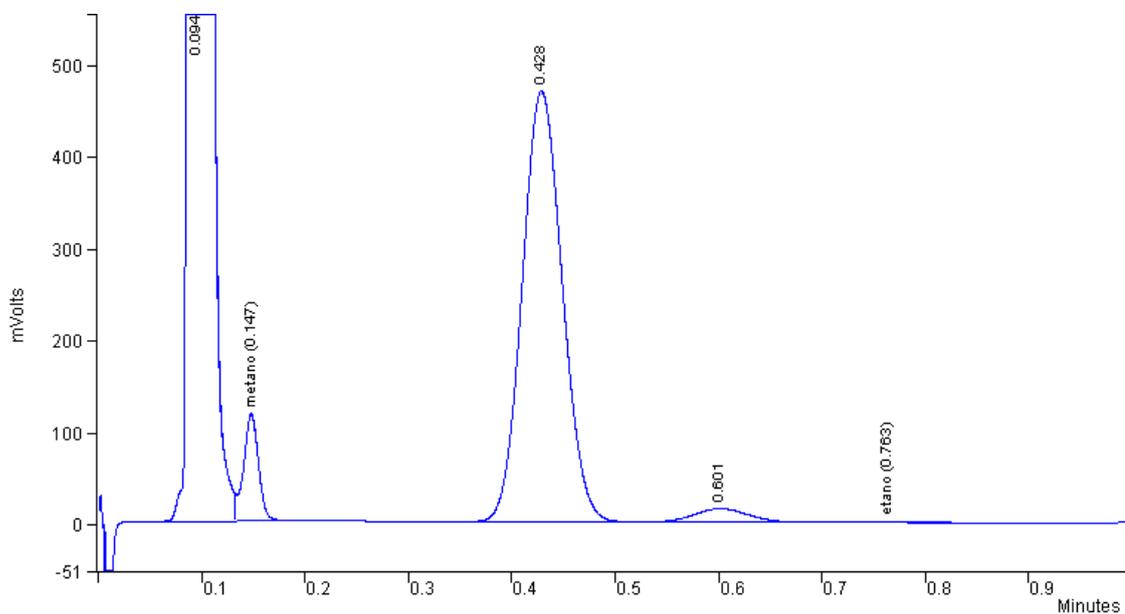


Figura 24: Cromatografia da BG30 a 4000 rpm

O cromatograma da Figura 25 sobrepõe o combustível BG20 a 2000 (cor azul) e 4000 (cor vermelho) rpm, e de forma comparativa visualiza-se maior emissão de metano (tempo 0,147 minutos) e menor emissão de dióxido de carbono (tempo 0,426 minutos) a 2000 rpm para uma mesma escala.

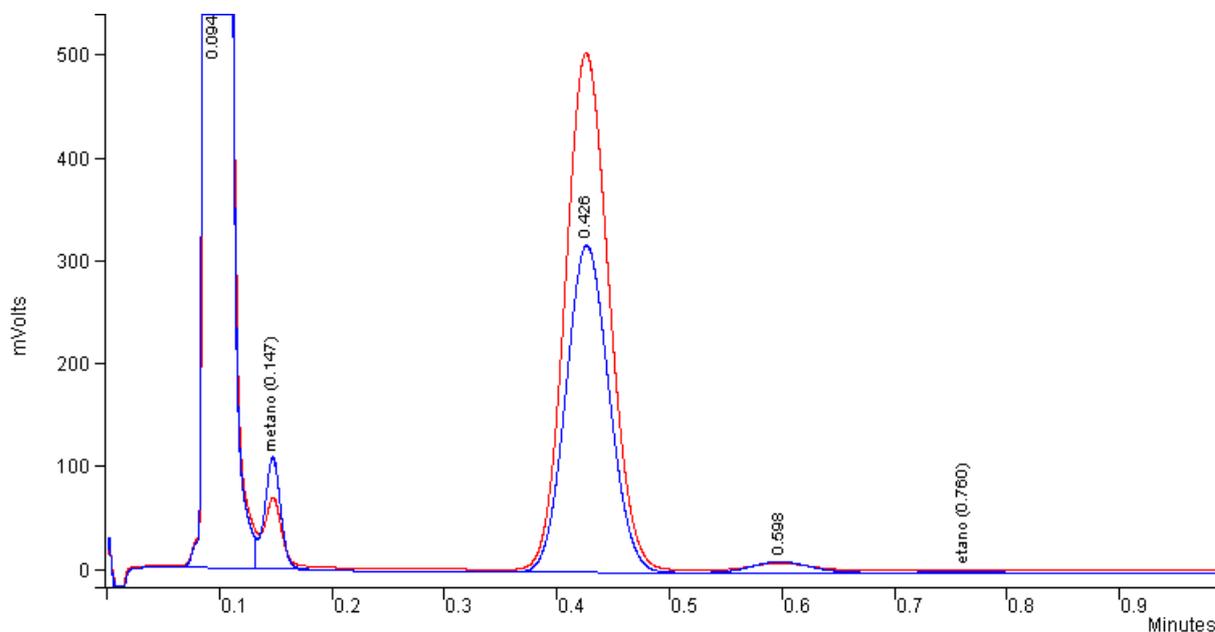


Figura 25: Cromatografia do combustível BG20 a 2000 e a 4000 rpm

O cromatograma da Figura 26 sobrepõe o combustível BG30 a 2000 (cor azul) e a 4000 (cor vermelha) rpm, e para esta escala, ocorre sobreposição na emissão do gás metano (tempo de 0,147 minutos) e maior emissão de dióxido de carbono (tempo de 0,427 minutos) para 4000 rpm. O aumento da emissão do dióxido de carbono é devido ao aumento do consumo de combustível necessário com o aumento da rotação. Por isto, baseado no princípio da combustão incrementa-se as emissões gasosas, principalmente do dióxido de carbono.

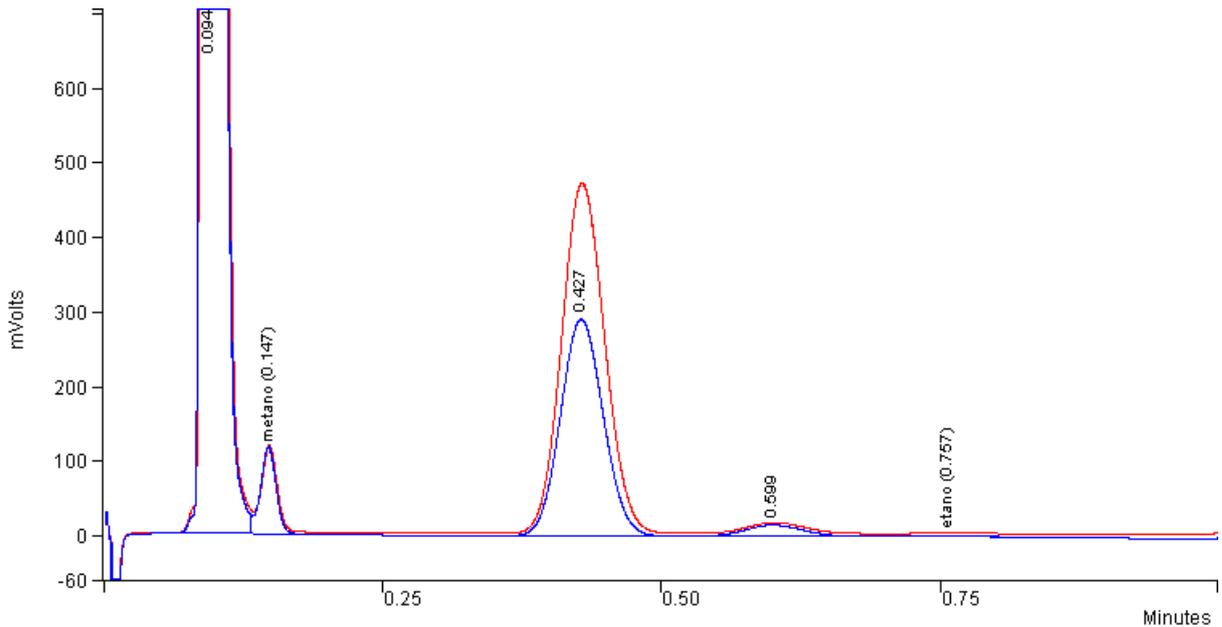


Figura 26: Cromatografia do combustível BG30 a 2000 e a 4000 rpm

As cromatografias descritas acima resultaram das análises dos gases oriundos da combustão da gasolina Podium, BG20 e BG30 obtidos a 2000 e a 4000 rpm. Os dados quantitativos foram estratificados, tratados e discutidos na seqüência, tendo-se como ponto de partida o dióxido de carbono.

- Dióxido de carbono

A Figura 27 mostra as emissões gasosas de CO<sub>2</sub> provenientes do escapamento da moto alimentada com gasolina Podium, BG20 e BG30 a 2000 e 4000 rpm.

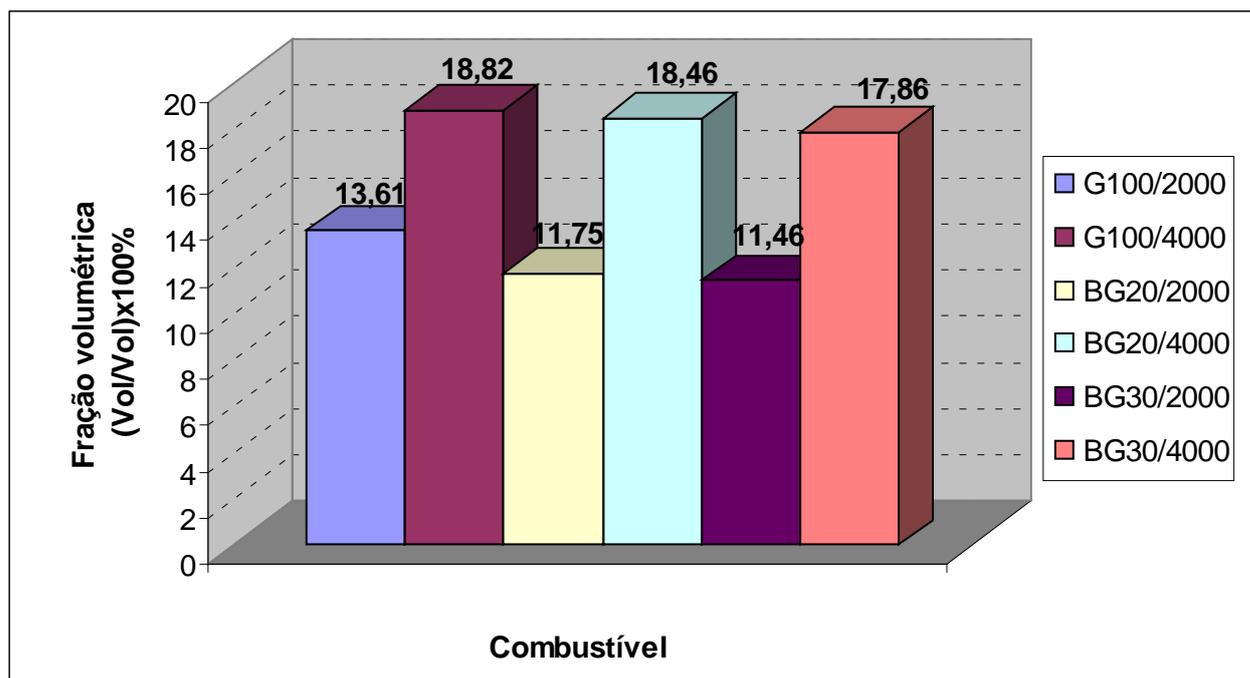


Figura 27: Emissão de CO<sub>2</sub>

Nota-se que durante a operação a 2000 rotações por minuto a emissão de CO<sub>2</sub> para a BG20 e a BG30 foi similar e com proporções menores que a emissão deste gás proveniente da queima da gasolina Podium, comportamento esse identificado quando da operação da moto com 4000 rpm. Os resultados descritos, com base nas análises da Figura 27, foram similares àqueles obtidos por Usta et al, 2004; Çetinkaya, et al, 2005; Canakci, 2007; Pugazhivadiv e Jeyachandran, 2005; Radish, 2008; Sharp et al., 2000; Utlu, 2007, os quais avaliaram a performance das emissões gasosas oriundas da combustão de biodiesel de diversas origens. Com esses dados, fortalece-se as descrições encontradas na literatura revisada que afirmam que biocombustíveis apresentam baixas emissões dos gases de efeito estufa, pois possuem estruturas moleculares menores quando comparadas com aquelas dos combustíveis fósseis.

- Metano

A Figura 28 retrata a emissão gasosa de metano a 2000 e 4000 rpm para a gasolina Podium, BG20 e BG30. Além do dióxido de carbono, foi possível a caracterização de hidrocarbonetos nos gases de combustão, com destaque para metano, etano e propano. Na seqüência, procede-se a análise dos resultados desses gases mediante a comparação com aqueles oriundos da gasolina Podium.

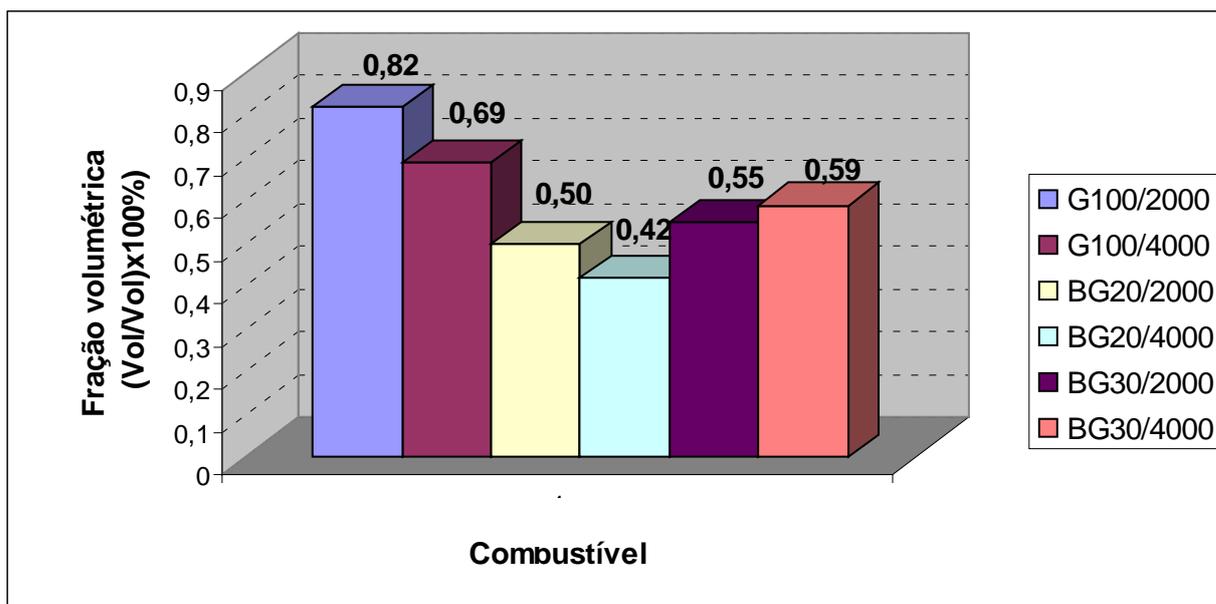


Figura 28: Emissão gasosa de metano

A Figura 28 descreve as emissões do gás metano na composição dos gases de combustão quando da utilização de gasolina Podium, BG20 e BG30, a 2000 e 4000 rpm. O metano emitido pela gasolina Podium a 2000 rpm foi superior às emissões oriundas do BG20 e BG30 a 2000 rpm e a 4000 rpm. Os resultados aqui descritos mostram que a presença da biogasolina na composição do combustível testado proporciona redução das emissões do gás metano. A análise comparativa dos teores de metano oriundos do BG20 e BG30 mostra que o incremento da biogasolina com frações acima de 20% resulta no aumento das emissões desse gás. Além do mais, com o aumento da rotação aumenta-se também as taxas de emissões do metano.

- Etano

Na Figura 29 a emissão gasosa de etano oriundo da combustão de gasolina Podium, BG20 e BG30, a 2000 rpm e a 4000 rpm, é observado a redução significativa das taxas de emissões gasosas com o aumento da concentração da biogasolina. Contudo, a diminuição é mais significativa quando a análise é feita utilizando-se os teores destes gases oriundos da operação da moto com rotação de 2000 rpm.

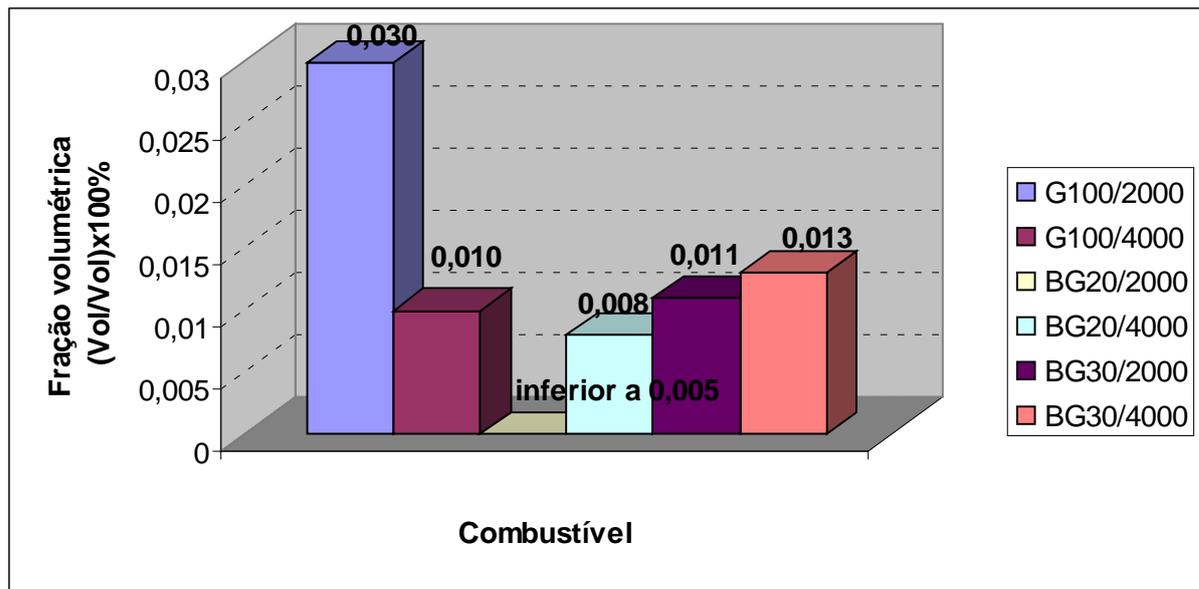


Figura 29: Emissão gasosa de etano

Nota-se um decréscimo de emissão da gasolina Podium quando o motor opera a 4000 rpm. A fração volumétrica do etano emitido pelo motor com a BG20 a 2000 rpm foi inferior a 0,005, mostrando-se levemente superior a 4000 rpm. Operando com gasolina Podium, a emissão de etano decai com o aumento de rotação, porém aumenta com as combinações BG20 e BG30.

- Propano

As análises das emissões gasosas de propano (Figura 30) mostraram-se mais significativas na gasolina Podium, ressaltando que houve um decréscimo nas emissões quando o motor operava com as combinações BG20 e BG30. Todos os combustíveis testados apresentaram um acréscimo na emissão de propano com o aumento da rotação.

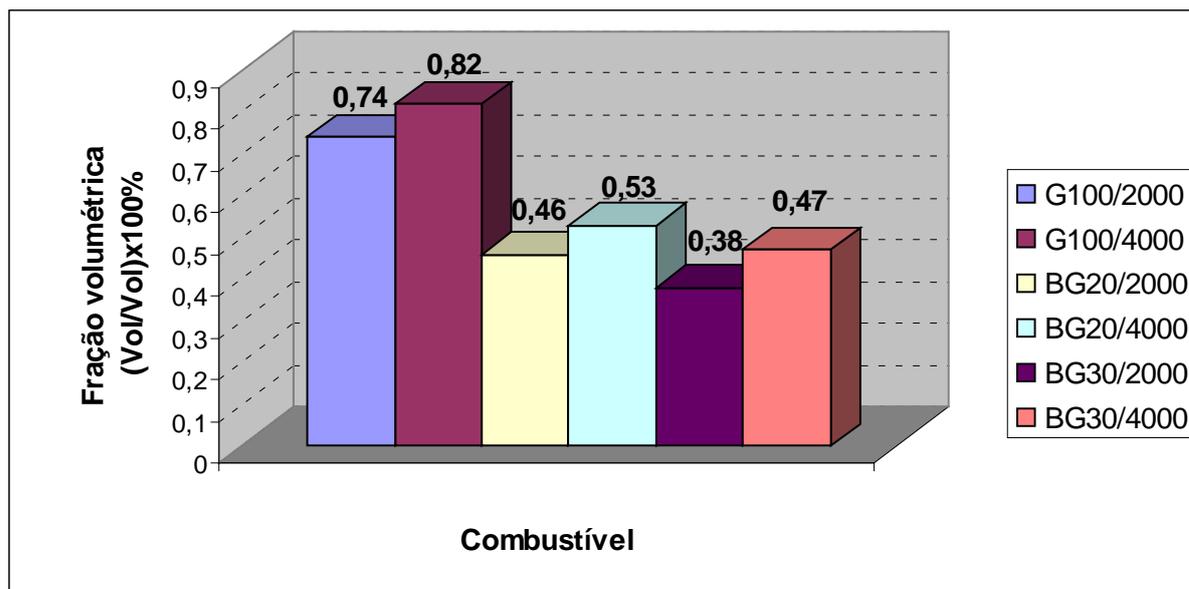


Figura 30: Emissão gasosa de propano

### Considerações finais

As análises das emissões dos gases de combustão feitas ao longo deste trabalho possibilitaram determinar influência de biogolina na gasolina Podium que resulta na diminuição das emissões gasosas para todas as frações de biogolina estudadas. Os resultados obtidos podem ser vinculados ao tamanho das estruturas moleculares constituintes da biogolina que quando em combustão produzem reduzidas frações dos gases avaliados, principalmente dióxido de carbono.

As incrustações identificadas na operação da moto podem impactar negativamente no desempenho mecânico em termos de torque e consumo e as emissões gasosas, principalmente para a operação ao longo do tempo.

O efeito da maior concentração de dióxido de carbono na atmosfera impacta sobre o efeito estufa, causando o aumento da temperatura global, o que acarreta em sérias conseqüências para a humanidade, tais como a elevação do nível do mar, secas, tempestades mais freqüentes, chuvas ácidas, entre outras. Esses fenômenos estão sendo diretamente relacionados ao acirramento do efeito estufa, decorrente da queima de combustíveis fósseis.

A proposta metodológica apresentada neste trabalho contribui significativamente no estudo e aplicação dos biocombustíveis como fonte de energia renovável e pode ser aprimorada para avaliação de outros biocombustíveis em desenvolvimento nas diversas pesquisas científicas no Brasil e no mundo.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos dados obtidos e discutidos ao longo desta dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, pôde-se concluir que:

- Os resultados apresentados mostram ganhos sociais e ambientais significativos, evidenciando o sucesso da operação da biogasolina como aditivo da gasolina, sem qualquer alteração no motor, com desempenho do torque similar ao da gasolina sem mistura a 2000 rpm e expressivo a 4000 rpm;
- a montagem da bancada de testes com motor de motocicleta popular da marca Honda, modelo CG 125 cilindradas, possibilitou a realização de testes de combustão com diferentes combustíveis (gasolina Podium, BG10, BG15, BG20, BG25, BG30) e a conseqüente determinação do desempenho mecânico em termos de torque e consumo de combustíveis utilizados, bem como a avaliação das emissões gasosas;
- É necessário desenvolver procedimentos de fracionamento e purificação da biogasolina como forma de otimizar o processo de combustão na perspectiva de minimizar incrustações no interior do motor e melhorar o consumo de combustível;
- a biogasolina, quando misturada à gasolina Podium nas proporções de 10, 15, 20, 25 e 30% e utilizado como combustível de combustão interna em um motor Honda monocilíndro de 125 cilindradas, apresenta desempenho mecânico positivo;
- a operação ininterrupta do motor com os combustíveis BG10, BG15, BG20, BG25 e BG30, por mais de uma hora, apresenta grande funcionalidade mecânica;
- a operação da moto a 2000 e 4000 rpm proporciona emissões gasosas diferenciadas, com maior significância para as menores rotações;
- as emissões gasosas de CO<sub>2</sub>, provenientes da operação da moto a 2000 rpm, diminuem com o aumento da concentração da biogasolina na mistura, isto é: BG20 (13,6 %) e BG30 (15,8 %);
- as emissões gasosas de CO<sub>2</sub>, provenientes da operação da moto a 4000 rpm, diminuem, em proporções menores, com o aumento da concentração da biogasolina na mistura, isto é: BG20 (2,0 %) e BG30 (5,1 %);
- as emissões gasosas de metano, provenientes da operação da moto a 2000 rpm, na sua generalidade, diminuem com a presença da biogasolina na mistura (BG20 (39,0%) e BG30 (32,9%));

- as emissões gasosas de etano diminuem com a presença da biogasolina na mistura, a 2000 rpm [BG20 (83,3%) e BG30 (63,3%)], quando comparadas com os gases provenientes da moto operada a 4000 rpm [BG20 (20,0%) e BG30 (23%)];
- a operação da moto com a composição dos combustíveis avaliados neste estudo mostrou que as emissões gasosas de propano diminuem com a adição da biogasolina na gasolina Podium para as duas rotações estudadas [2000 rpm = BG20 (37,8%) e BG30 (48,6%) e 4000 rpm = BG20 (35,3%) e BG30 (42,7%)];
- a metodologia proposta para a medição das emissões de CO<sub>2</sub> e dos hidrocarbonetos (metano, etano e propano) foi efetiva, mesmo considerando que os dados obtidos não podem ser comparados com dados da literatura revisada devido ao ineditismo do trabalho desenvolvido e descrito ao longo desta dissertação;
- o uso da biogasolina com as composições descritas ao longo deste trabalho é uma alternativa ambiental considerando-se as baixas emissões de CO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos;
- o desempenho da moto medido através do torque mostrou que o motor a 2000 rpm possui um torque similar em todas as combinações de combustíveis e nas suas respectivas marchas. Contudo, a operação da moto a 4000 rpm registra melhorias significativas na medida do torque se comparada com a gasolina Podium. Maior desempenho foi registrado para a mistura BG25 com os desempenhos assim destacados: 36,17% na primeira marcha, 36,36% na segunda marcha, 29,8% na terceira marcha, 21,5% na quarta marcha e 20,46% na quinta marcha, quando comparado ao desempenho obtido da operação da moto com a gasolina Podium;
- o progresso tecnológico e metodológico oriundo da execução deste trabalho possibilita novas oportunidades investigativas no âmbito dos biocombustíveis que podem contribuir para a construção de novos saberes sobre os combustíveis alternativos, diversificando assim cada vez mais a matriz energética brasileira.

Mesmo considerando-se o alcance dos objetivos deste trabalho, cujos resultados foram minuciosamente apresentados, sugere-se como recomendações para a continuidade de investigações científicas os seguintes estudos:

- desenvolver uma bancada dinamométrica de testes com rolos, possibilitando a adequação de qualquer veículo de passeio, motocicletas, triciclos ou veículos de pequeno porte, interligada a um sistema de aquisição de dados on-line para registrar,

simultaneamente, em um micro-computador, os dados de potência, torque, consumo e emissões gasosas nas mais diversas rotações e marchas;

- avaliar as emissões gasosas, consumo e potência de motores para frações maiores de biogasolina na gasolina e com a perspectiva do uso de biogasolina pura como combustível de combustão interna;
- avaliar outros tipos de biocombustíveis como forma de aprofundar o entendimento sobre os dados obtidos neste trabalho e conhecer a performance, em termos de emissões gasosas.

## 6 REFERÊNCIAS

AEROTECNOLOGIA. Disponível em: <<http://www.aerotecologia.com.br>>. Acesso em: 20 de outubro de 2008.

AJAV, E. A.; SINGH, B.; BHATTACHARYA, T. K. *Experimental study of some performance parameters of a constant speed stationary diesel using ethanol-diesel blends as fuel*. Biomass and Energy, 17 357-365, 1999.

ALI, Y.; HANNA, M. A. E.; BORG, J. E. *Effect of alternative diesel fuels on heat release curves for Cummins N14-410 diesel engine*. Transactions of the ASAE, Am. Soc. Of Agric. Engin., v. 39, n. 2, p. 407-414, 1996.

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br>>. Acesso em: 10 de novembro de 2008.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel.asp>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2008.

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2008.

ASTM. Standard Specification for Diesel Fuel Oils. Designation: D 975-04c. Annual Book of ASTM Standards, 05.01:363-381. ASTM, Philadelphia, PA. 2005.

BARATA, António Mendes. **Motores de explosão**. 6. Ed. São Paulo: Editora dos Tribunais, 1991. 03-15p.

BARBOSA, Alfredo R.; BITELLI, M. A. S. **Coletânea de petróleo e gás**. 2. Ed. São Paulo, 2004. 09-11p.

BARROS, A. A. C.; MEIER, H. F. Implementação da modelagem de estágios de não-equilíbrio na purificação de biodiesel. IV Congresso Brasileiro de Engenharia Química. 14-17 de setembro de 2008.

BARROS, A. A. C.; WUST, E.; MEIER, H. F. *Estudo da viabilidade técnico-científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos*. Engenharia Sanitária e Ambiental, V. 13. Num. 3 jul-set 2008. 155-262p.

BARSA(a). **Nova Enciclopédia Barsa**. 6. Ed. São Paulo: Barsa Planeta Internacional Ltda. Vol. 5. 2002. 168p.

BARSA(b). **Nova Enciclopédia Barsa**. 6. Ed. São Paulo: Barsa Planeta Internacional Ltda. Vol. 6. 2002. 379p.

BARSA(c). **Nova Enciclopédia Barsa**. 6. Ed. São Paulo: Barsa Planeta Internacional Ltda. Vol. 10. 2002. 186p.

BAINES, John. **Preserve a natureza**. 4. Ed. São Paulo: Scipione, 1997. 10-30p.

BAZZO, Edson. **Geração de vapor**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995. 54-62p.

BEIRES, C. J. S. **Motores de Explosão e Diesel**. 6. Ed. São Paulo: Credilep S.A., 1962.

BIODIESELBR. Revista Biodieselbr. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2008.

BIODIESELECOOLEO. Disponível em: <<http://www.biodiselecooleo.com.br>>. Acesso em 20 de outubro de 2008.

BONASTRE, José S.; SCHULTZ, Hugo. **Termodinâmica motores de combustão interna**. 3. Ed. Barcelona, Provenza, Espanha: Labor, 1951. 140-143p.

BRANCO, Samuel M.; MURGEL, E. **Poluição do ar**. 1. Ed. São Paulo: Moderna, 1995.

BRASIL. Resolução. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. n. 297 de 26 de fevereiro de 2002. Estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos. Disponível em: <<http://www.ima.al.gov.br>>. Acesso em 18 de maio de 2008.

BRASIL. Resolução. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. n. 315 de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares-PROCONVE. Considerando a necessidade e os prazos para promover a qualidade dos combustíveis automotivos nacionais para viabilizar a introdução de modernas tecnologias de alimentação de combustíveis e de controle de poluição. Disponível em: <<http://www.ima.al.gov.br>>. Acesso em 26 de julho de 2008.

BRASIL. Resolução. ANP n. 42 de 24 de novembro de 2004. MEDAUAR, Odete. Coletânea de legislação ambiental: Constituição Federal. 6. Ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2007.

BRASIL. Regulamento Técnico. n. 4 de 2004. MEDAUAR, Odete. Coletânea de legislação ambiental: Constituição Federal. 6. Ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2007.

BRASILENEGIA. Disponível em: <<http://www.brasilenergia.com.br>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2008.

CARDONE, M.; PRATI, M. V.; ROCCO, V.; SEGGIANI, M.; SENATORE, A.; VITOLO, S. *Brasica Carinata as an alternative oilcrop for the production of biodiesel in Italy: Engine performance and regulated and unregulated exhaust emissions*. Environment Science and Technology, 36 4656-4662, 2002.

CALLENBACH, E. **Ecologia: Um guia de bolso**. Peirópolis: Fundação Peirópolis, 2001.

CONSEUIL, H. C. Contaminação de águas subterrâneas por derramamento de gasolina: O problema é grave. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v.2, n.2, p. 50-54, 1997.

CANAKCI, M.; ERDIL, A.; ARCAKLIOGLU, E. *Performance and exhaust emissions of a biodiesel engine*. Applied Energy, 83. 594-605 p. 2006.

CANACKI, M. *Combustion characteristics of turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel*. Bioresource Technology, 98 1167-1175, 2007.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 21 de dezembro de 2007.

ÇETINKAYA, M.; ULUSOY, Y.; TEKIN, Y.; KARAOSMANOGLU, F. *Engine and winter road test performance of used cooking oil originated biodiesel*. Energy Conversion & Management, 46 1279-1291, 2005.

CORRÊA, S. M.; ARBILLA, G. *Aromatic hydrocarbons emissions in diesel and biodiesel exhaust*. Atmospheric Environment, 40 6821-6926, 2007.

DEMIRBAS, A. *Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline-range hydrocarbons*. Journal of Analytical and applied Pyrolysis, 72 97-102, 2004.

DEMIRBAS, A. *Progress and recent trends in biofuels*. Progress in Energy and Combustion Science, 33 1-18, 2007.

FEM. Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~instmed/>>. Acesso em: 21 de outubro de 2008.

FORTES, I. C. P.; BAUGH, P. J. *Pyrolysis-GC/MS studies of vegetable oils from macauba fruit*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 72 103-111, 2004.

FOX, R. W.; McDonald, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998. 19p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física**. 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC, v.1, 2006. p. 276-281.

HELENE, M. E. M.; BUENO, M. A. F.; GUIMARÃES, M. R. F.; PACHECO, M. R.; NUNES, Edelci. **Poluentes atmosféricos**. São Paulo: Scipione, 1994.

HEYWOOD, John B. **Internal Combustion Engine Fundamentals**. Ed. Mcgraw-Hill. New York. United States, 1988.

JIA, L. W.; SHEN, M. Q.; EANG, J.; LIN, M.Q. *Influence of ethanol-gasoline blended fuel on emission characteristics from a four-stroke motorcycle engine*. Journal of Hazardous Materials, 123 29-34, 2005.

LEITE, André B. Processos de absorção de gases: simulação numérica e relevância ambiental. Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, FURB. Blumenau, SC. Dissertação de Mestrado, 2001.

LEMBO, Antônio. **Química: realidade e contexto**. São Paulo: Ática, 1999.

LU, C. B.; YAO, J. J.; LIN, W. G.; SONG, W. L. *Study on Biomass catalytic pyrolysis for production of bio-gasoline by on-line FTIR*. Chinese Chemical Letters, 18 445-448, 2007.

MA, F.; HANNA, M.A. *Biodiesel Production: A Review*. Bioresource Technology, 70 1-15 1999.

MARCHETTI, J. M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A. F. *Possible methods for biodiesel production*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2005.

MARK, Philippe Saint. **A Poluição**. Rio de Janeiro: Salvat, 1979. 32-38 p.

MEHER, K. D.; BRESSLER, D. C. *Pyrolysis of triglyceride materials for the production of renewable fuel and chemicals*. Bioresource Technology, 98 2351-2368 2007.

MELCONIAN, Sarkis. *Mecânica técnica e resistência dos materiais*. 13. Ed. Tatuapé: Érica, 1999.

MME. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acesso em: 17 de novembro de 2008.

MONTEIRO, Aline Guimarães. **Estratégia de redução de emissões de poluentes no setor de transportes por meio de substituição modal na região metropolitana de São Paulo**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, R.J. Tese de doutorado. Rio de Janeiro, 1998.

MOUVIER, Gerard. **A poluição atmosférica**. Lisboa, Portugal: Instituto Piaget. Biblioteca Básica de Ciências e Cultura, 1995.

MURILLO, S.; MÍGUES, J. L.; PORTEIRO, J.; GRANADA, E.; MORÁN, J. C. *Performance and exhaust emission in use of biodiesel in outboard diesel engines*. Fuel, 1765-1791 2007.

NBB. Nacional Biodiesel Board. Disponível em: <<http://www.nbb.org>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2008.

NGVC. Nacional Gás Vehicle Coalition. Disponível em: <<http://www.ngvc.org>>. Acesso em: 25 de outubro de 2008.

ODELL, Peter R. **Geografia econômica do petróleo**. Rio de Janeiro: Zahar, 1966. 89-90 p.

OMETTO, João G. S. **O álcool e o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: PIC, 1988.

PENG, Chiung-Yu. *Effect of biodiesel blend fuel on aldehyde emissions from diesel engine exhaust*. Atmospheric Environment, 2007. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.10.016.

PERFECTUM. Disponível em: <<http://www.perfectum.com.br>>. Acesso em 20 de outubro de 2008.

PETERSSON, C.; REECE, D. **Emissions characteristics of ethil and methils Ester of repressed oil compared with low sulfúur diesel control fuel in chassis dynamometer test of a pickup truck**. Transactions of the ASAE, Am. Soc. Of Agric., v. 39, n.3, p.805-816, 1996.

PETROBRÁS. *Petróleo Brasileiro. Relatório Anual de Atividades*, Rio de Janeiro, 2005.

PETROBRÁS. Petróleo Brasileiro. Disponível em: <<http://www.br.com.br>>. Acesso em: 02 de março de 2008.

PROVONVE. Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 11 de julho de 2008.

PUGAZHVADIVU, M.; JEYACHANDRAN, K. *Investigations on the performance and exhaust emissions of diesel engine using preheated waste frying oil as fuel*. Renewable Energy, 30 2189-2202, 2005.

RADICH, A. Biodiesel performance, costs, and use. US Energy Information Administration website <<http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biodiesel/index.html>>. Acesso em: 02 de março de 2008.

RAMADHAS, A. S.; JAYARAJ S.; MURALEEDHARAN C. *Use of vegetable oils as I. C. engine fuels: a review*. Renew Energy, 29 727-742, 2004.

RESNICK, Robert. **Fundamentos da Física**. 4. Ed. São Paulo: LTC, 2003.

RIBARICK, Sergio Alejandro. Manual de eletricidade e mecânica de motos. São Paulo: LSR, 2002.

RIBEIRO, Suzana Kahn. **O álcool e o aquecimento global**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Copersucar, 1997. 17-25 p.

ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. Editora: Editora da UNICAMP. Campinas, SP. 2005.

SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem industrial. **Apostila automotiva: mecânica de motocicletas**. Rio de Janeiro: SENAI, 2002.

SHARP, C. A.; HOWELL, S. A.; JOBE, J. The effect of biodiesel fuels on transient emissions from modern diesel engines, Part II unregulated emissions and chemical characterization. In: SAE Technical Paper 2000-01-1968, International Spring Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, Paris, France.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, Romeu C.; SILVA, Roberto R. **O azul do planeta: Um retrato da atmosfera terrestre**. 2. Ed. São Paulo: Moderna, 1995. 50-60 p.

TOSSELO, A. **Curso prático sobre combustão e combustíveis**. Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia. Programa: Energia para a Agricultura. Ministério da Agricultura. Campinas, 1980.

TUMUNaidu, P.; BHATIA, S. *Catalytic cracking of palma oil for production of biofuels: Optimization studies*. Bioresource Technology, 2007. doi:10.1016/j.biortech.2006.11.028.

TASHTOUSH, G.; WIDYAN, A., AL-SHYOUKH, A. O. *Combustion performance and emission of ethil ester of a waste vegetable oil in a water-cooled furnace*. Applied Thermal Engineering, 23 285-293, 2003.

UCZAI, Pedro. **Biocombustíveis: Energia renovável e alimento saudável**. Florianópolis, 2007.

USTA, N.; OZTURK, E.; CAN, O.; CONKUR, E. S.; NAS, S.; ÇON, A. H.; CAN, A. Ç.; TOPCU, M. *Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in Diesel engine*. Energy Conversion and Management, 2005. doi:10.1016/j.enconman.2004.05.001.

UTLU, Zafer. *The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions*. Renewable Energy, 2007. doi:10.1016/j.renene.2007.10.006.

VLASSOV, Dmitri. **Combustíveis, combustão e câmaras de combustão**. Curitiba: UFPR, 2001.

VOLKSWAGEM. Manual do carburador 2 e 7 – 3E. 1991.

VOLKSWAGEN. Manual controle de emissões e poluentes.1995.

VOLKSWAGEN. Manual motor AE – Volkswagem. s.l, 1989.

WIGGERS, Vinicyus R. **Produção contínua de biocombustíveis a partir de resíduos gordurosos por craqueamento térmico**. Universidade Estadual de Campinas, SP. Tese de doutorado. Campinas, 2007.

WISNIEWSKI, Alberto Junior. **Composição química dos produtos obtidos por craqueamento térmico de óleo de peixe residual estudo da classificação como biocombustível**. Universidade Federal de Santa Catarina, SC. Tese de doutorado em andamento. Florianópolis, 2008.

WUST, Elisiane. Estudo da viabilidade técnico-científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos. Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, FURB. Blumenau, SC. Dissertação de Mestrado, 2004.

YANG, H. H.; CHIEN, S.; LO, M.; LAN, C.; LU, W.; KU, Y. *Effects of biodiesel on emissions regulated air pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons under engine durability testing*. Atmospheric Environment, 41 7232-7240, 2007.

ZHENG, M.; MULENGA, M. C.; READER, G. T.; WANG, M.; TING, S-K.; TJONG, J. *Biodiesel engine performance and emission in low temperature combustion*. Fuel, 2007. doi:10.1016/j.fuel.2007.05.039.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)