

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DE VIABILIDADE OPERACIONAL E DESEMPENHO DE MOTORES DE  
COMBUSTÃO INTERNA OPERANDO COM COMBUSTÍVEL BIODIESEL EM RELAÇÃO  
AO COMBUSTÍVEL DIESEL AUTOMOTIVO

por

Rafael Rogério Brunelli

Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia

Porto Alegre, Junho de 2009.

ESTUDO DE VIABILIDADE OPERACIONAL E DESEMPENHO DE MOTORES DE  
COMBUSTÃO INTERNA OPERANDO COM COMBUSTÍVEL BIODIESEL EM RELAÇÃO  
AO COMBUSTÍVEL DIESEL AUTOMOTIVO

por

Rafael Rogério Brunelli

Engenheiro Mecânico

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Energia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello – PROMEC - UFRGS.

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Paulo Otto Beyer – PROMEC – UFRGS.

Prof. Dr. Luciano Caldeira Vilanova – CTISM – UFSM.

Prof. Dr. Carlos Roberto Altafini – DEM – UCS.

Prof. Dr. Horácio Antônio Vielmo.  
Coordenador do PROMEC – UFRGS.

Porto Alegre, 26 de Junho de 2009.

## DEDICATÓRIA

*Este trabalho é dedicado a todos que, de alguma forma, praticam ciência: os pensadores, pesquisadores e professores da vida, os que aprendem a ensinar para poder ensinar, lutam pelo bem comum, pela humanidade, pela felicidade, sempre respeitando o próximo, a vida e o nosso meio ambiente.*

*Dedico esta obra, em especial e com muito carinho, a toda minha família: meus pais, o Sr. Euclides Brunelli e a Sr<sup>a</sup> Lucila Tomedi Brunelli, minha irmã Patrícia Brunelli e a minha fiel companheira e eterna namorada, estes que estiveram comigo em todos os momentos de criação desta obra.*

## AGRADECIMENTOS

Sempre que pensamos em ciência, entendemos o quanto o ser humano tem de aprender, ensinar e viver. Gostaria de agradecer a todo o pessoal da empresa Agrale S.A., pela atenção, confiança e satisfação que me proporcionaram durante o período de mais de um ano de interações com a fábrica de motores da Agrale de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, ao Sr. *Adelair Colombo*, Engenheiro Chefe do Departamento de Desenvolvimento de Motores da Agrale S.A., aos meus grandes amigos e futuros engenheiros *Solimar Carra Perera* e *Andreis Nesello*, Técnicos em Sistemas Automotivos, e aos técnicos do Laboratório Dinamométrico da Agrale S.A., os Srs *Itacir José Giacomet* e *Luís Antônio Foresti*. Também de forma especial, gostaria de agradecer ao Engenheiro do Laboratório de Ensaios da Universidade de Caxias do Sul (UCS) o Sr. Marcos Rigotti, que além de ser um excelente profissional é uma pessoa maravilhosa, sempre disposta a ajudar, e obviamente um grande amigo meu de longa data. Enfim, gostaria de agradecer a todos os que de alguma maneira, na empresa Agrale S.A., me auxiliaram para que eu chegasse à conclusão de meus trabalhos científicos pela UFRGS.

Agradeço aos professores e profissionais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em especial ao Sr. *Pedro Barbosa Mello*, Doutor em Engenharia e meu orientador de mestrado, que muito me ajudou na formatação tecnológica desta obra e ao Sr. *Paulo Kutter*, que, através de diversas ações na secretaria, auxiliou-me na implementação de todas as atividades curriculares, para que assim houvesse a conclusão deste mestrado em Energia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

## RESUMO

O trabalho apresenta uma análise técnica de desempenho dos motores de combustão interna ciclo Diesel, operando com combustível biodiesel em relação à operação com óleo diesel automotivo do tipo *B*. Busca-se neste trabalho definir uma relação tecnológica entre o antigo (óleo diesel) e o novo (biodiesel), demonstrando-se formas e processos de operação com ambos, a fim de enfatizar a garantia de eficiência da aplicação do biodiesel nos motores que hoje operam com óleo diesel automotivo. O desempenho foi avaliado em relação ao torque, potência, consumo específico de combustível e emissões de fumaça. A aplicação do biodiesel como uma nova forma de energia alternativa, sem alterações em projetos originais dos motores de combustão interna ciclo Diesel, motivou a realização deste trabalho. O motor utilizado nestes ensaios foi um motor Agrale M93 ID, monocilíndrico, com cilindrada de 668 cm<sup>3</sup> e relação de compressão de 20,0:1. Neste motor foram ensaiados três tipos diferentes de biodiesel: o de soja, mamona e dendê. Todos os ensaios foram realizados utilizando-se percentuais específicos de adição de biodiesel ao óleo diesel. Utilizou-se inicialmente o B25 (adição de 25% de biodiesel ao óleo diesel tipo *B*), e posteriormente concentrações de B50, B75 e B100. Todo o sistema motriz foi instalado em uma bancada dinamométrica e instrumentado, a fim de permitir a coleta de informações e avaliações do torque, potência, consumo específico, emissões de fumaça, temperaturas e rotações operação. Os ensaios foram desenvolvidos em velocidades de rotação de 2600, 2400, 2200, 2000 e 1800 min<sup>-1</sup>, para cada uma das concentrações de biodiesel e óleo diesel, coletando-se posteriormente todos os dados necessários para aplicar no programa de correção, conforme normatização vigente. Os resultados apresentaram pequenas variações nos parâmetros torque e potência, com variações mais significativas para o consumo específico e emissões de fumaça. Observa-se ao final dos ensaios que a aplicação de biodiesel destas três oleaginosas não altera o funcionamento do motor até percentuais próximos a 25%. Para misturas acima de 50%, verifica-se que o motor ensaiado apresenta reduções mais significativas nos parâmetros torque e potência, com aumento considerável no consumo específico de combustível e redução expressiva nas emissões de fumaça.

Palavras-chave: Motores de Combustão Interna, Diesel, Biodiesel, Desempenho.

## ABSTRACT

This study presents a Diesel cycle internal combustion engine technical analysis of performance operating on biodiesel fuel compared to the operation using type B automotive diesel oil. The aim of the study is to define the technological relationship between the long-standing diesel oil and the new biodiesel, demonstrating ways and processes of operation with both of them, so as to emphasize the guarantee of efficient application of biodiesel in engines which presently operate on automotive diesel oil. The performance was evaluated in relation to torque, power, specific fuel consumption and smoke emissions. The application of biodiesel as a new form of alternative energy, with no alterations in original cycle Diesel internal combustion engine projects, motivated this study. The engine used for the tests was a single-cylinder Agrale M93 ID, with 668 cc and 20,0:1 compression ratio. Three different types of biodiesel were tested in that engine: from soybeans, from castor oil plant (mamona) and from dende palm tree. All tests were carried out using specific percentages of biodiesel addition to the diesel oil. Initially, B25 (addition of 25% of biodiesel to the B type diesel oil) was tested, and then concentrations of B50, B75 and B100 were used. The whole engine system was installed and instrumented on a dynamometric bench, so as to allow the data collecting to record information and evaluations on torque, power, specific fuel consumption, smoke emissions, temperature and operating rotations. The tests were performed on rotation speeds of 2600, 2400, 2200, 2000 and 1800  $\text{min}^{-1}$ , for each of the concentrations of biodiesel and diesel oil, obtaining all the necessary data to apply in the correction program, according to the present norms. The results presented little variation for the torque and power parameters and more significant variations for specific fuel consumption and smoke emissions. After testing, we observed that the application of biodiesel from those three oleaginous plants does not alter engine operation with percentages around 25%; for mixtures above 50%, the engine tested presented more significant reductions in torque and power parameters, with a considerable increase in specific fuel consumption and a substantial reduction in smoke emissions.

Key-words: Internal combustion engines, Diesel, Biodiesel, Performance.

# ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	8
3.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	8
3.1.1 FUNDAMENTOS DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	8
3.1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	8
3.1.3 MOTORES CICLO OTTO E CICLO DIESEL .....	9
3.1.3.1 CICLOS DE POTÊNCIA.....	11
3.1.3.1.1 CICLO DE CARNOT .....	11
3.1.3.1.2 CICLO OTTO .....	13
3.1.3.1.3 CICLO DIESEL .....	13
3.1.4 TORQUE E POTÊNCIA.....	14
3.1.5 EFICIÊNCIA DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	15
3.1.5.1 EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	16
3.1.6 EFICIÊNCIA MECÂNICA E PRESSÃO MÉDIA EFETIVA .....	16
3.1.7 CONSUMO ESPECÍFICO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	18
3.2 COMBUSTÍVEIS PARA MOTORES CICLO DIESEL .....	19
3.2.1 PETRÓLEO.....	19
3.2.2 ÓLEO DIESEL.....	19
3.2.3 BIODIESEL.....	20
3.2.3.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DO COMBUSTÍVEL BIODIESEL .....	22
3.2.3.2 ASPECTOS GERAIS E DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL.....	23
3.2.3.2.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA .....	23
3.2.3.2.2 A PRODUÇÃO DO BIODIESEL.....	24
3.2.3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO BIODIESEL.....	28
3.3 ANÁLISE DE GASES EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	34
3.3.1 GASES DE EXAUSTÃO .....	37
3.3.2 ANALISADORES DE GASES DE EXAUSTÃO.....	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
4.1 AMBIENTE INDUSTRIAL.....	42

4.2 CONDIÇÕES GERAIS DE DESENVOLVIMENTO .....	42
4.2.1 PROCESSOS DESENVOLVIDOS PARA O PROJETO BIODIESEL .....	43
4.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS .....	44
4.3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO .....	45
4.3.2 BANCO DE ENSAIOS .....	46
4.3.3 MEDIDOR DE CONSUMO ESPECÍFICO .....	50
4.3.4 MEDIDOR DO ÍNDICE DE FUMAÇA .....	51
4.3.5 SENSOR DE TEMPERATURA (TIPO K) .....	52
4.4 COMBUSTÍVEIS DO PROJETO BIODIESEL .....	53
4.5 MOTOR AGRALE M93 ID DO PROJETO BIODIESEL .....	54
4.6 METODOLOGIA DE ENSAIO .....	55
4.7 FATORES DE CORREÇÃO (ABNT NBR 1585) .....	61
4.8 ANÁLISE DE ERROS .....	63
5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....	67
5.1 RESULTADOS - BIODIESEL DE SOJA .....	68
5.1.1 RESULTADOS – TORQUE E POTÊNCIA .....	68
5.1.2 RESULTADOS – CONSUMO ESPECÍFICO .....	71
5.1.3 RESULTADOS – ÍNDICE DE FUMAÇA .....	73
5.2 RESULTADOS - BIODIESEL DE MAMONA .....	75
5.2.1 RESULTADOS – TORQUE E POTÊNCIA .....	75
5.2.2 RESULTADOS – CONSUMO ESPECÍFICO .....	77
5.2.3 RESULTADOS – ÍNDICE DE FUMAÇA .....	79
5.3 RESULTADOS - BIODIESEL DE DENDÊ .....	81
5.3.1 RESULTADOS – TORQUE E POTÊNCIA .....	81
5.3.2 RESULTADOS – CONSUMO ESPECÍFICO .....	83
5.3.3 RESULTADOS – ÍNDICE DE FUMAÇA .....	84
5.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	86
5.4.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS – TORQUE E POTÊNCIA .....	87
5.4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS – CONSUMO ESPECÍFICO .....	94
5.4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS – ÍNDICE DE FUMAÇA .....	98
6. CONCLUSÃO .....	103
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	106
ANEXOS .....	114

A1. CERTIFICADOS DE QUALIDADE E ENSAIOS - BIODIESEL.....	114
A2. COMBUSTÍVEIS DO PROJETO BIODIESEL .....	118
A3. MOTOR AGRALE M93 ID – ESPECIFICAÇÕES E DESEMPENHO .....	121
A4. RESULTADOS DOS ENSAIOS EM DINAMÔMETRO .....	129
A5. PARÂMETROS PARA ANÁLISES DINAMOMÉTRICAS CICLO DIESEL .....	141

## LISTA DE SÍMBOLOS

<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>ABT</i>	Programa de correção de dados (ABNT NBR)
<i>Alt. Cm.</i>	Altura da câmara do motor ensaiado [mm]
<i>ANP</i>	Agência Nacional do Petróleo
<i>APMS</i>	Graus antes do ponto morto superior [ ° ]
<i>APMI</i>	Graus antes do ponto morto inferior [ ° ]
<i>ASTM</i>	American Society for Testing and Materials
<i>b</i>	Comprimento de alavanca do freio [m]
<i>B-By</i>	Efeito Blow – By do motor ensaiado
<i>BNDES</i>	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
<i>bsfc</i>	Consumo específico de combustível [kg/kW.h]
<i>B<sub>xx</sub></i>	Simbologia para percentuais de misturas de biodiesel
<i>B25</i>	Concentração de 25% de biodiesel no óleo diesel
<i>B50</i>	Concentração de 50% de biodiesel no óleo diesel
<i>B75</i>	Concentração de 75% de biodiesel no óleo diesel
<i>B100</i>	Concentração de 100% de biodiesel
<i>C. Útil</i>	Curso útil do êmbolo do motor ensaiado [mm]
<i>C<sub>c</sub></i>	Constante de consumo [cm <sup>3</sup> /s]
<i>CO</i>	Concentração de monóxido de carbono [%vol]
<i>CO<sub>2</sub></i>	Concentração de dióxido de carbono [%vol]
<i>CO<sub>c</sub></i>	Concentração de carbono corrigido [%vol]
<i>CONAMA</i>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<i>CONTRAN</i>	Conselho Nacional de Trânsito
<i>C<sub>p</sub></i>	Calor específico à pressão constante [kJ/kg.K]
<i>CREA</i>	Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia
<i>C<sub>v</sub></i>	Calor específico a volume constante [kJ/kg.K]
<i>D<sub>comb</sub></i>	Densidade do combustível [g/cm <sup>3</sup> ]
<i>DETRAN</i>	Departamento Nacional de Trânsito
<i>DENP</i>	Departamento de engenharia da empresa (Agrale S.A.)
<i>DPMS</i>	Graus depois do ponto morto superior [ ° ]

<i>DPMI</i>	Graus depois do ponto morto inferior [ ° ]
<i>EMBRAPA</i>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<i>EPA</i>	Environmental Protection Agency
<i>F</i>	Força medida no transdutor do freio [N]
<i>f<sub>a</sub></i>	Fator atmosférico
<i>f<sub>m</sub></i>	Fator do motor
<i>G.Cons.(t)</i>	Grandeza consumo específico (tempo) [s]
<i>G.Cons.(m)</i>	Grandeza consumo específico (massa) [g]
<i>GLP</i>	Gás liquefeito de petróleo
<i>GNV</i>	Gás natural veicular
<i>H<sub>2</sub>O</i>	Concentração de água [%vol]
<i>HC</i>	Concentração de hidrocarbonetos [ppm]
<i>IBAMA</i>	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
<i>IBP</i>	Instituto Brasileiro do Petróleo
<i>INMETRO</i>	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
<i>IPT</i>	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
<i>ib</i>	Incerteza de medição do comprimento de alavanca do freio [m]
<i>iF</i>	Incerteza de medição da força na célula de carga [N]
<i>iTb</i>	Incerteza de medição de torque no freio [N.m]
<i>ib<sub>sf</sub>c</i>	Incerteza de medição do consumo específico de combustível [g/kW.h]
<i>im<sub>f</sub></i>	Incerteza de medição do fluxo de massa de combustível [kg/s]
<i>iP<sub>b</sub></i>	Incerteza de medição da potência de freio [W]
<i>K</i>	Relação entre o Cp e o Cv ( $k = C_p/C_v$ )
<i>m<sub>a</sub></i>	Massa de mistura que entra no motor [kg/s]
<i>MAPA</i>	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<i>m<sub>CO</sub></i>	Fluxo de massa de monóxido de carbono [kg/s]
<i>MCT</i>	Ministério da Ciência e Tecnologia
<i>MDA</i>	Ministério do Desenvolvimento Agrário
<i>MEN</i>	Matriz Energética Nacional
<i>m<sub>f</sub></i>	Fluxo de massa de combustível [kg/s]
<i>m<sub>HC</sub></i>	Fluxo de massa de hidrocarbonetos [kg/s]
<i>MME</i>	Ministério das Minas e Energia do Brasil
<i>m<sub>NOx</sub></i>	Fluxo de massa de óxido nítrico [kg/s]

$N$	Velocidade angular [ $s^{-1}$ ] ou [rad/s]
$n$	Número de moles [moles]
<i>NBB</i>	National Biodiesel Board
<i>NBR</i>	Norma Técnica Brasileira
<i>NOx</i>	Concentração de óxido de nitrogênio [%vol]
$n_r$	Número de cursos de potência para cada ciclo
$O_2$	Concentração de oxigênio [%vol]
<i>OPMO</i>	Operação de Projetos de Motores (Agrale S.A.)
$p$	Pressão (ciclo Diesel) [kPa]
$P$	Pressão [kPa]
<i>P.Bico</i>	Pressão de bico injetor de combustível [kPa]
<i>P.F.I</i>	Ponto final de injeção
<i>P.I.I</i>	Ponto inicial de injeção
<i>Patm</i>	Pressão atmosférica [kPa]
$P_b$	Potência no freio [W]
<i>PBar</i>	Pressão atmosférica local [kPa]
$P_{bme}$	Pressão média efetiva no freio [kPa]
$P_{c,ig}$	Potência indicada bruta por ciclo [W]
<i>PCI</i>	Poder calorífico inferior [kJ/kg]
<i>PCS</i>	Poder calorífico superior [kJ/kg]
$p_d$	Pressão seca [kPa]
$P_{d,ref}$	Pressão seca de referência [99 kPa]
$P_f$	Potência consumida pelas resistências passivas [W]
$P_{me}$	Pressão média efetiva [kPa]
<i>PMI</i>	Ponto morto inferior
<i>PMI*</i>	Project Management Institute
<i>PMS</i>	Ponto morto superior
<i>Poil</i>	Pressão do óleo do motor [kPa]
<i>Pot</i>	Potência do motor [W]
$P_{out}$	Potência específica de saída [kW]
$P_{ref}$	Potência de referência [kW]
$P_x$	Pressão de operação em diferentes pontos [kPa]
$P_y$	Potência medida [kW]

$q$	Parâmetro da razão do combustível [mg/(L.ciclo)]
$R$	Constante universal dos gases ideais [kJ/(kg.K)]
$R_{mec}$	Rendimento mecânico
$RPM_x$	Rotações por minuto do motor ensaiado em diversas condições [ $\text{min}^{-1}$ ]
$rv$	Relação volumétrica de compressão [adimensional]
$s$	Entropia [kJ/kg.K]
$S.M.T.$	Sistema de medição de tempo (C – centesimal) ou (S – sexagesimal)
$SAE$	Society of Automotive Engineers
$sCO$	Emissão específica de monóxido de carbono [g/kW.h]
$SEBRAE$	Serviço Brasileiro de apoio às Micros e Pequenas Empresas
$SENAI$	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
$sHC$	Emissão específica de hidrocarbonetos [g/kW.h]
$sNO_x$	Emissão específica de óxido nítrico [g/kW.h]
$SO_x$	Concentração de óxido de enxofre [%vol]
$T$	Temperatura absoluta [K]
$T.C.$	Taxa de compressão ou relação de compressão [adimensional]
$T_{amb}$	Temperatura ambiente [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_{arref\ in}$	Temp. do líq. de arrefecimento na entrada do sistema motriz [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_{arref\ out}$	Temp. do líq. de arrefecimento na saída do sistema motriz [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_{asp}$	Temperatura de admissão ou aspiração do motor [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_b$	Torque no freio [N.m]
$TBS$	Temperatura de bulbo seco [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$TBU$	Temperatura de bulbo úmido [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_{comb.}$	Temperatura de operação do combustível [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_e$	Temperatura de escape [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_o$	Temperatura do óleo do motor [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_q$	Torque do motor [N.m]
$T_{ref}$	Temperatura de referência [298 K]
$T_x (TL\ e\ TH)$	Temperaturas de operação em diferentes pontos [K]
$UB$	Unidade Bosch (nível de fumaça produzido)
$v$	Volume [ $\text{m}^3$ ]
$V.M.$	Volume de combustível medido [ml]
$V_d$	Volume deslocado por ciclo [ $\text{m}^3$ ]

<i>Vol./Curso</i>	Volume por curso do motor ensaiado [mm <sup>3</sup> /curso]
<i>Vol.C.</i>	Volume da câmara de combustão [cm <sup>3</sup> ]
<i>V<sub>x</sub></i>	Volume de operação em diferentes pontos [m <sup>3</sup> ]
<i>V</i>	Volume Específico (ciclo Diesel) [m <sup>3</sup> ]
<i>W</i>	Trabalho [J]
<i>α</i>	Fator de correção de potência (ABNT NBR 1585)
<i>α<sub>a</sub></i>	Fator de correção de potência (Motores de ignição por centelha)
<i>α<sub>c</sub></i>	Fator de Correção de Potência (Motores de ignição por compressão)
<i>η<sub>f</sub></i>	Eficiência de conversão do combustível [adimensional]
<i>η<sub>m</sub></i>	Eficiência mecânica [adimensional]
<i>η<sub>t</sub></i>	Eficiência térmica [adimensional]
<i>η<sub>v</sub></i>	Eficiência volumétrica [adimensional]
<i>μ</i>	Média dos valores observados
<i>ρ<sub>a, i</sub></i>	Densidade da mistura na admissão [kg/m <sup>3</sup> ]
<i>λ</i>	Relação ar/combustível utilizada [kg <sub>ar</sub> / kg <sub>comb</sub> ]
<i>ΔR</i>	Incerteza do resultado

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Ciclo de trabalho 4 tempos Diesel. Adaptado de INMETRO (2000). .....	10
Figura 3.2 – Diagrama do ciclo de Carnot. Adaptado de Wylen (1995). .....	12
Figura 3.3 – Diagrama do ciclo Diesel. Adaptado de Martinelli Jr. (2005). .....	14
Figura 3.4 – Processo de produção do biodiesel. Adaptado de Biodieselbr (2008). .....	26
Figura 3.5 – Processo de transesterificação. Adaptado de MME (2008). .....	27
Figura 3.6 – Combustível X Viscosidade (Biodiesel). Adaptado de Santos (2007). .....	32
Figura 3.7 – Combustível X Densidade (Biodiesel). Adaptado de Santos (2007). .....	33
Figura 3.8 – Processo de formação da fuligem. Adaptado de Braun (2003). .....	36
Figura 3.9 - Analisador de gases ciclo Diesel (Fluxo Parcial). Adaptado de Inmetro (2008). .....	40
Figura 4.1 – Laboratório de ensaios do <i>DENP</i> (1). Adaptado de Agrale (2008). .....	44
Figura 4.2 – Laboratório de ensaios do <i>DENP</i> (2). Adaptado de Agrale (2008). .....	45
Figura 4.3 – Sistema de abastecimento combustível. Adaptado de Agrale (2008). .....	46
Figura 4.4 – Esquema do dinamômetro – Schenck. Adaptado de Agrale (2008). .....	47
Figura 4.5 – Dinamômetro Schenck e motor acoplado. Adaptado de Agrale (2008). .....	48
Figura 4.6 – Painel de comandos do dinamômetro Schenck (1). Adaptado de Agrale (2008). .....	48
Figura 4.7 – Painel de comandos do dinamômetro Schenck (2). Adaptado de Agrale (2008). .....	49
Figura 4.8 – Painel de comandos do dinamômetro Schenck (3). Adaptado de Agrale (2008). .....	49
Figura 4.9 – Equipamento AVL – medidor de consumo específico. Adaptado de Agrale (2008). ..	50
Figura 4.10 – Equipamento medidor de consumo específico. Adaptado de Agrale (2008). .....	50
Figura 4.11 – Equipamento AVL (medidor do índice de fumaça). Adaptado de Agrale (2008). ...	51
Figura 4.12 – Filtro especial (medidor do índice de fumaça). Adaptado de Agrale (2008). .....	52
Figura 4.13 – Sensor termopar do <i>Tipo K</i> . Adaptado de Agrale (2008). .....	52
Figura 5.1 – Torque - Biodiesel de Soja. Incerteza de medição máxima $\pm 0,54\%$ . .....	70
Figura 5.2 – Potência - Biodiesel de Soja. Incerteza de medição máxima $\pm 1,07\%$ . .....	70
Figura 5.3 – Consumo específico - Biodiesel de Soja. Incerteza de medição máxima $\pm 5\%$ . .....	72
Figura 5.4 – Índice de fumaça - Biodiesel de Soja. Incerteza de medição máxima $\pm 2\%$ . .....	74
Figura 5.5 – Torque - Biodiesel de Mamona. Incerteza de medição máxima $\pm 0,54\%$ . .....	76
Figura 5.6 – Potência - Biodiesel de Mamona. Incerteza de medição máxima $\pm 1,07\%$ . .....	77
Figura 5.7 – Consumo específico - Biodiesel de Mamona. Incerteza de medição máxima $\pm 5\%$ . ..	79
Figura 5.8 – Índice de fumaça - Biodiesel de Mamona. Incerteza de medição máxima $\pm 2\%$ . .....	80

Figura 5.9 – Torque - Biodiesel de Dendê. Incerteza de medição máxima $\pm 0,54\%$ . .....	82
Figura 5.10 – Potência - Biodiesel de Dendê. Incerteza de medição máxima $\pm 1,07$ . .....	82
Figura 5.11 – Consumo específico - Biodiesel de Dendê. Incerteza de medição máxima $\pm 5\%$ . ...	84
Figura 5.12 – Índice de fumaça - Biodiesel de Dendê. Incerteza de medição máxima $\pm 2\%$ . .....	85
Figura 5.13 – Torque para Biodiesel (B25). Incerteza de medição máxima $\pm 0,54\%$ . .....	90
Figura 5.14 – Potência para Biodiesel (B25). Incerteza de medição máxima $\pm 1,07\%$ . .....	90
Figura 5.15 – Torque para Biodiesel (B50). Incerteza de medição máxima $\pm 0,54\%$ . .....	91
Figura 5.16 – Potência para Biodiesel (B50). Incerteza de medição máxima $\pm 1,07\%$ . .....	91
Figura 5.17 – Torque para Biodiesel (B75). Incerteza de medição máxima $\pm 0,54\%$ . .....	92
Figura 5.18 – Potência para Biodiesel (B75). Incerteza de medição máxima $\pm 1,07\%$ . .....	92
Figura 5.19 – Torque para Biodiesel (B100). Incerteza de medição máxima $\pm 0,54\%$ . .....	93
Figura 5.20 – Potência para Biodiesel (B100). Incerteza de medição máxima $\pm 1,07\%$ . .....	93
Figura 5.21 – Consumo específico para Biodiesel (B25). Incerteza de medição máxima $\pm 5\%$ . ....	96
Figura 5.22 – Consumo específico para Biodiesel (B50). Incerteza de medição máxima $\pm 5\%$ . ....	96
Figura 5.23 – Consumo específico para Biodiesel (B75). Incerteza de medição máxima $\pm 5\%$ . ....	97
Figura 5.24 – Consumo específico para Biodiesel (B100). Incerteza de medição máxima $\pm 5\%$ . ...	97
Figura 5.25 – Índice de fumaça para Biodiesel (B25). Incerteza de medição máxima $\pm 2\%$ . .....	100
Figura 5.26 – Índice de fumaça para Biodiesel (B50). Incerteza de medição máxima $\pm 2\%$ . .....	100
Figura 5.27 – Índice de fumaça para Biodiesel (B75). Incerteza de medição máxima $\pm 2\%$ . .....	101
Figura 5.28 – Índice de fumaça para Biodiesel (B100). Incerteza de medição máxima $\pm 2\%$ . .....	101
Figura A1 – Certificado da qualidade ( A ). Adaptado de Agrale (2008). .....	114
Figura A2 – Certificado da qualidade ( B ). Adaptado de Agrale (2008). .....	115
Figura A3 – Certificado de ensaio Soja (1). Adaptado de Agrale (2008). .....	116
Figura A4 – Certificado de ensaio Soja (2). Adaptado de Agrale (2008). .....	117
Figura A5 – Motor Agrale M93 ID. Adaptado de Agrale (2008). .....	121
Figura A6 (a) – Especificações técnicas do motor Agrale M93 ID. Adaptado de Agrale (2008). 122	
Figura A6 (b) – Especificações técnicas do motor Agrale M93 ID. Adaptado de Agrale (2008). 123	
Figura A6 (c) – Especificações técnicas do motor Agrale M93 ID. Adaptado de Agrale (2008). 124	

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Principais tipos de matérias-primas para produção do Biodiesel (MME, 2008). .....	24
Tabela 3.2 - Principais propriedades dos óleos vegetais em relação ao óleo diesel (MME, 2008). .....	31
Tabela 5.1 – Análises gerais de desempenho (óleo diesel X Biodiesel) .....	102
Tabela A1 - Principais diferenças do óleo diesel comercializado no Brasil (Agrale, 2008). .....	118
Tabela A2 – Análise das propriedades físicas e químicas do Biodiesel (Agrale, 2005). .....	119
Tabela A3 – Análise das propriedades do Biodiesel (Agrale, 2008). .....	120
Tabela A4 – Tabela de dados dos ensaios (oficial) (Agrale, 2008). .....	125
Tabela A5 – Dados coletados em ensaios com óleo diesel (1) (ABT) (Agrale, 2008). .....	126
Tabela A6 – Dados coletados em ensaios com óleo diesel (2) (ABT) (Agrale, 2008). .....	127
Tabela A7 – Dados corrigidos dos ensaios com óleo diesel (ABT) (Agrale, 2008). .....	128
Tabela A8 – Potência [kW] (Biodiesel de Soja) .....	129
Tabela A9 – Torque [daN.m] (Biodiesel de Soja). .....	130
Tabela A10 – Consumo Específico [g/kW.h] (Biodiesel de Soja). .....	131
Tabela A11 – Níveis de Fumaça [UB] (Biodiesel de Soja). .....	132
Tabela A12 – Potência [kW] (Biodiesel de Mamona) .....	133
Tabela A13 – Torque [daN.m] (Biodiesel de Mamona) .....	134
Tabela A14 – Consumo Específico [g/kW.h] (Biodiesel de Mamona). .....	135
Tabela A15 – Níveis de Fumaça [UB] (Biodiesel de Mamona) .....	136
Tabela A16 – Potência [kW] (Biodiesel de Dendê) .....	137
Tabela A17 – Torque [daN.m] (Biodiesel de Dendê) .....	138
Tabela A18 – Consumo Específico [g/kW.h] (Biodiesel de Dendê) .....	139
Tabela A19 – Níveis de Fumaça [UB] (Biodiesel de Dendê) .....	140

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo (ANP), por meio da Portaria nº 255/2003, define biodiesel como sendo um combustível composto de mono-alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais e designado por B100. Portanto, neste trabalho, considera-se biodiesel todo combustível obtido de biomassa que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil em motores ciclo Diesel, automotivos e estacionários. Esta definição é relevante para evitar a discriminação de qualquer rota tecnológica para a obtenção desse combustível de fonte vegetal ou animal, o que permite incluir, além do próprio óleo in natura, o obtido por transesterificação etílica ou metílica, por craqueamento, ou ainda por transformação em líquido, de gases obtidos de biomassa. Os dois choques do petróleo, nos anos de 1970, reacenderam o interesse pelos óleos vegetais, mas ele voltou a arrefecer-se na década seguinte, em consequência da trajetória de maior estabilidade da oferta e dos preços que vigoravam então. A partir do ano de 1990, a consolidação do conceito de desenvolvimento sustentável, a preocupação com o efeito estufa, as várias guerras que ocorriam pelo mundo, principalmente no Oriente Médio, afetaram diretamente alguns dos principais países produtores de petróleo. Além disso, as questões estratégicas ligadas ao longo período de formação dos combustíveis de origem fóssil foram os principais fatores a imprimir avanços sem precedentes à produção e uso do biodiesel, especialmente na Europa e, logo após, nos Estados Unidos, segundo dados do Ministério das Minas e Energia do Brasil [MME, 2008]. Na União Européia, o biodiesel recebe incentivo à produção e ao consumo através de alívio tributário e alterações importantes na legislação do meio ambiente. Para registro no trabalho, cabe ressaltar que somente a Alemanha é responsável por 56% da produção européia de biocombustíveis, onde há cerca de 1.400 postos de abastecimento de biodiesel puro (B100). O total produzido na Europa ultrapassa, atualmente, um bilhão de litros por ano, tendo crescido à taxa anual de 30% entre 1998 e 2006. Atualmente, no mundo, o biodiesel está sendo usado (em fase de testes para alguns casos) em frotas de automóveis especiais, ônibus urbanos, serviços postais e órgãos do governo, em motores de combustão interna utilizados na mineração subterrânea e embarcações, assim como em motores de combustão de processos industriais e agrícolas. Em diversos países do mundo, como na Malásia, estão sendo implementados programas para a produção de biodiesel com a criação de fábricas especiais que têm autonomia para a produção de grande quantidade deste combustível.

O Brasil detém considerável experiência acumulada na área do biodiesel, mas, ao contrário de outros países considerados desenvolvidos, o país ainda se encontra em franco descompasso com a atual capacidade produtiva de biomassa, pois dispomos de condições de solo e clima privilegiados para a produção de diversas matérias-primas como soja, mamona, amendoim, dendê, babaçu, etc, e de várias rotas tecnológicas (transesterificação metílica e etílica e craqueamento térmico ou catalítico, dentre outras), suscetíveis de aproveitamento para fabricação de biodiesel, de acordo com os Ministérios das Minas e Energia [MME, 2008], Desenvolvimento Agrário [MDA, 2008] e da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento [MAPA, 2008].

Em nível de pesquisa e desenvolvimento, o biodiesel já integra a agenda de importantes entidades públicas e privadas, como os Ministérios da Ciência e Tecnologia e de Minas e Energia, Instituições de Pesquisa, Universidades Federais e Regionais, Centros Tecnológicos do país e exterior, a Agência Nacional de Petróleo, a Embrapa e a Petrobrás, além de iniciativas promovidas por diversos Estados da Federação e por entidades como as de Tecnologias Bioenergéticas, a Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais e a Confederação Nacional da Agricultura (CNA), dentre outras.

A cada ano que passa, elevam-se as restrições ambientais às emissões de veículos automotores e equipamentos em geral que utilizam motores de combustão interna para funcionarem, principalmente nos grandes centros urbanos, saturados destes equipamentos: automóveis, ônibus e caminhões. Os índices permissíveis, por regulamentações, dos compostos nos escapamentos destes equipamentos, em geral, estão diminuindo, elevando cada vez mais as pesquisas por alternativas e ampliando o espaço para penetração dos combustíveis limpos - os combustíveis ecológicos. O biodiesel já ocupa um lugar de respeito neste quesito, um lugar de fonte energética abundante e menos nociva ao meio ambiente, se comparado aos combustíveis fósseis da atualidade. A tendência generalizada no mundo, de proteção às diversas formas e processos de vida no nosso meio ambiente, deverão limitar bastante o uso de derivados de petróleo. Com isso, prevê-se uma retração da demanda de petróleo antes do fim das reservas.

O trabalho em questão avalia de forma técnica a aplicação deste combustível a motores de combustão interna ciclo Diesel. Em função das diversas demandas por novas tecnologias relativas a propulsores de combustão interna, definem-se no trabalho alguns parâmetros e especificações mais apropriadas para a utilização de biodiesel, de maneira a manter o desempenho em relação ao diesel automotivo, reduzindo consideravelmente os níveis de fuligem emitidos ao meio ambiente. Analisando-se por esta ótica, o principal objetivo do chamado trabalho-projeto é verificar, com a utilização de tecnologias especiais (dinamômetros e

analisadores especiais de gases de exaustão), o comportamento de um motor de combustão interna, utilizando um tipo alternativo de energia, o biodiesel. Avalia-se, ainda, qual o comportamento dos motores que inicialmente foram projetados para funcionar com diesel automotivo em relação ao biodiesel. Cabe ressaltar que existem no trabalho-projeto duas linhas globais de análise: uma relacionada à aplicação do combustível biodiesel em relação ao combustível diesel automotivo, mantendo-se as características químicas dos combustíveis, e outra linha que se refere à avaliação técnica do desempenho obtido nos motores, mantendo-se todas as características originais do motor ensaiado, relacionando novamente o biodiesel com o diesel automotivo. Esta segunda linha de raciocínio é muito importante para empresas que desenvolvem motores para aplicações diversas, pois assim se obtêm informações técnicas e tecnológicas sobre o funcionamento e desempenho dos sistemas operando com uma modalidade diferente de combustível, sem alterações de projetos, partes e peças, não gerando desta forma custos adicionais de implementação do biodiesel nos motores.

No trabalho consta, também, uma série de informações tecnológicas referentes aos motores de combustão interna sobre o uso do combustível biodiesel e sobre os processos de análise de gases de exaustão (índice de fumaça) dos motores testados no projeto.

Os resultados obtidos no trabalho referem-se aos combustíveis biodiesel de soja, mamona e dendê em relação ao diesel automotivo tipo *B*. Alguns parâmetros funcionais são avaliados, e alguns resultados que tecnicamente são esperados são obtidos. Conforme apresentado no capítulo relativo aos combustíveis biodiesel de soja, mamona e dendê, estes possuem algumas alterações em suas propriedades químicas em relação ao diesel automotivo que afetam muito o fator desempenho, conforme o percentual de adição avaliado. Estas propriedades químicas, como viscosidade ou poder calorífico, alteram o desempenho do motor ensaiado, de acordo com os resultados deste trabalho. É importante frisar que as emissões (níveis de fumaça) se reduzem muito quando existe a aplicação de percentuais elevados de biodiesel no motor, demonstrando assim que o mesmo tem uma gama enorme de aplicações industriais e veiculares.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nas últimas décadas tem ocorrido no Brasil e no mundo um rápido aumento da motorização individual em função das exigências de deslocamento das pessoas, principalmente em grandes centros urbanos. Este crescimento relacionado a máquinas térmicas de combustão interna traz à superfície problemas que se tornam, com o passar do tempo, cada vez mais críticos, como a poluição do ar e a baixa empregabilidade de novas fontes de energias.

Neste capítulo, portanto, apresenta-se uma revisão bibliográfica pertinente ao assunto energias alternativas aplicadas a motores ciclo Diesel, onde se pretende estabelecer o estado da arte de muitos conceitos importantes referentes ao tema biodiesel, sua aplicação em motores de combustão interna, avaliação de viabilidade e desempenho operacional, tudo em relação ao combustível diesel automotivo.

Quando se estuda desenvolvimento e tecnologia em máquinas térmicas, bem como formas de melhorar tecnologicamente a construção destas máquinas, sempre se deve levar em conta, para efeitos de estudos e comparações, grandes obras nas áreas de engenharia e desenvolvimento tecnológico [Taylor, 1988].

No Brasil o tema biodiesel vem sendo debatido há alguns anos, e muitos estados já fazem parte da malha de produção deste combustível, conforme descrito detalhadamente em algumas obras, documentos e artigos técnicos consultados em sites oficiais e internet [ANP, 2008], que tratam de temas voltados ao desenvolvimento de tecnologias para a obtenção economicamente viável do combustível biodiesel, bem como de formas estratégicas de produção e distribuição deste combustível, avaliando-se, principalmente, o custo-benefício da produção do biodiesel em cada região do país.

Concluiu-se que o Brasil tem condições de produzir biodiesel em grandes quantidades e por valores relativamente baixos em relação a outros países, já que, historicamente, detém uma forte participação de energias renováveis em sua Matriz Energética Nacional – MEN, a qual hoje representa uma parcela de 44%, enquanto no mundo esta participação é de 14%, segundo dados oficiais do Ministério das Minas e Energia do Brasil [MME, 2008]. Esta característica se deve a uma considerável participação da hidroeletricidade (14,5%), mas principalmente da biomassa (29,1%) [Biodieselbr, 2008].

Basicamente o biodiesel pode ser obtido por transesterificação ou alcoólise, processo que consiste na reação de óleos vegetais com um intermediário ativo, formado pela reação de um

álcool com um catalisador, conforme define Santos, 2007, que trata de forma específica da inserção do biodiesel na Matriz Energética Brasileira. Santos, 2007, que também avalia os aspectos técnicos e ambientais relacionados ao uso do biodiesel em motores de combustão interna ciclo Diesel, conclui que existe um grande campo de aplicação para este tipo de combustível, e que o Brasil, além de ser um grande produtor de biodiesel, em poucos anos poderá vir a ser um consumidor de grande quantidade deste combustível.

Segundo alguns autores [Oliveira e Da Costa, 2002], cujos trabalhos envolveram o biodiesel como uma experiência em desenvolvimento sustentável a nível nacional, conclui-se que a produção em larga escala deste combustível a partir de óleos e gorduras pode ser feita a partir de três reações básicas: a transesterificação do óleo a partir de catálise básica; a transesterificação direta do óleo a partir de catálise ácida e pela conversão do óleo para ácidos graxos e depois para biodiesel. Os autores destacam as principais razões pelas quais a maioria dos fabricantes de biodiesel opta pela catálise básica e concluem que o emprego de baixa temperatura e pressão, alta taxa de conversão, baixo tempo de reação e ocorrência da conversão direta a biodiesel, sem formação de compostos intermediários, é uma excelente escolha de produção deste tipo de combustível, independente do tipo de oleaginosa utilizada.

Conforme obras consultadas [Santos, 2007; Bueno, 2006], cujos temas dos trabalhos envolvem um estudo científico da aplicação de biodiesel (de diversas oleaginosas), em percentuais específicos nos motores de combustão interna ciclo Diesel, constata-se que seus respectivos desempenhos operacionais relacionados aos parâmetros potência, torque, consumo específico e emissões de gases, tende a se reduzir com o aumento da adição em percentual de biodiesel ao óleo diesel. Como resultado dos trabalhos, algumas problemáticas operacionais são evidenciadas quando o motor ciclo Diesel trabalha alimentado com grandes concentrações de biodiesel em função principalmente de sua viscosidade e poder calorífico. No trabalho de Santos, 2007, constata-se que a viscosidade elevada do biodiesel em relação ao óleo diesel, afeta muito o funcionamento do motor ensaiado, principalmente na parte de alimentação, criando instabilidades funcionais em rotações extremas (altas e baixas). Já o poder calorífico reduz principalmente os parâmetros de potência e torque do motor, fazendo com que o consumo específico de combustível aumente consideravelmente. Estas características também são evidenciadas neste trabalho, apresentando-se para as diversas concentrações de biodiesel. Dentre os problemas encontrados nos trabalhos pesquisados [Santos, 2007; Bueno, 2006], temos a redução de vida útil de certos componentes dos motores, como bombas injetoras, cabeçotes e cilindros, em função do biodiesel ser corrosivo a metais não ferrosos, com exceção do alumínio.

Conclui-se então que este tema deverá ser muito mais trabalhado no futuro, pois existem diversas condições técnicas que modificam o comportamento do motor quando em operação com biodiesel.

Em relação à tecnologia dos combustíveis derivados da biomassa, suas aplicações em máquinas térmicas e impactos na matriz energética nacional, alguns autores em estudos especializados [Parente, 2003; Oliveira e Da Costa, 2002], avaliam temas envolvendo a produção do combustível biodiesel, suas aplicações técnicas e econômicas em motores ciclo Diesel. Nestas obras conclui-se que existem muitas ações que ainda podem ser efetivamente idealizadas com relação à adaptação do biodiesel em motores ciclo Diesel, buscando-se manter o desempenho funcional similar à operação com óleo diesel e uma aplicação economicamente viável para todas as regiões do Brasil, independente do estado de origem da oleaginosa.

Para estes autores, que conceituam biodiesel como um combustível renovável, biodegradável e ecologicamente correto, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, observa-se em seus trabalhos que os estudos e resultados exploram muito as propriedades químicas do biodiesel, pois este, dependendo de sua origem, pode conter algumas diferenças químicas em certas propriedades, como a viscosidade, poder calorífico e densidade do combustível, originando assim anomalias funcionais de combustão e operação nos motores ciclo Diesel.

Avaliando-se a aplicação direta do combustível biodiesel em motores de combustão interna ciclo Diesel, que é o objetivo principal deste trabalho, para fins de estudos do desempenho e viabilidade tecnológica desta aplicação e sua íntima relação com as características físico-químicas do óleo diesel, foram consultados trabalhos científicos, como os de Bueno, 2006 e Santos, 2007. Os temas dos trabalhos destes autores tratam de motores ciclo Diesel operando com misturas parciais de biodiesel, avaliações de parâmetros de desempenho, problemas apresentados e dificuldades encontradas para o uso do biodiesel em motores de ciclo Diesel. Os resultados constatados demonstram que o biodiesel, quando aplicado em concentrações inferiores a 10%, não modifica perceptivelmente o funcionamento dos motores ensaiados. Misturas acima dos 50% de biodiesel ao óleo diesel promovem irregularidades de operação em faixas de máximas e mínimas rotações do motor. Esta deficiência na aplicação do biodiesel nos motores restringe sua aplicabilidade e funcionalidade. Para concentrações acima de 75% de biodiesel, o resultado em relação às emissões surpreende, onde se verificam consideráveis reduções, principalmente no índice de fumaça, mantendo-se as concentrações de CO similares aos padrões evidenciados para a operação do motor com óleo diesel.

Um fator de grande importância, que pode vir a ser futuramente muito mais trabalhado, analisado e estudado, se refere ao impacto social gerado pelo emprego do combustível biodiesel, e sua inserção na matriz energética brasileira. Estes assuntos são tratados e consultados na obra de Oliveira e Da Costa, 2002, e no trabalho especializado de Holanda, 2004, cujos temas envolvem diretamente a aplicação do biodiesel a nível nacional e toda a logística para que seu uso em motores seja feito de forma consciente e racional. Uma nova e eficaz fonte de renda para muitas famílias que dependem da agricultura familiar envolvida no processo de produção do biodiesel é a principal conclusão dos estudos destes autores a nível nacional.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

A História de sucesso dos motores de combustão interna, conforme descrito por Taylor, 1988, começa por volta do ano de 1801, com Philippe Lebon, chamado pitorescamente de o pai do gás de hulha, que requereu uma patente descrevendo o princípio de um motor baseado na expansão de uma mistura de ar e gás inflamado.

##### **3.1.1 FUNDAMENTOS DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

Os motores de combustão interna funcionam transformando a energia calorífica resultante da queima ou da expansão térmica de uma mistura ar-combustível em energia mecânica e baseiam-se no princípio segundo o qual os gases se expandem quando aquecidos.

O processo de conversão se dá através de ciclos termodinâmicos que envolvem expansão, compressão e mudança de temperatura de gases.

##### **3.1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

Os motores de combustão interna podem ser classificados de algumas formas, como as descritas a seguir:

- Quanto à propriedade do gás na admissão: ar (Diesel); mistura ar + combustível (Otto);
- Quanto à ignição: por centelha (ICE); por compressão (ICO);
- Quanto ao movimento do pistão: alternativo (Otto e Diesel); rotativo (Wankel);
- Quanto ao ciclo de trabalho: 2 tempos; 4 tempos;
- Quanto ao número de cilindros: monocilíndricos; policilíndricos;
- Quanto à disposição dos cilindros: em linha ou opostos (Boxer); em “V” ou estrela;
- Quanto à utilização: geradores, máquinas de solda, bombas, compressores de ar, etc.

Independente de algumas das configurações citadas acima, a classificação quanto ao ciclo de trabalho é a que mais chama a atenção, devido ao fato de ser a base tecnológica para a construção dos motores, bem como a utilização de determinado tipo de combustível, conforme a potência que se deseja obter do equipamento térmico a ser utilizado.

### 3.1.3 MOTORES CICLO OTTO E CICLO DIESEL

Os motores de combustão interna de 2 ou 4 tempos, são máquinas térmicas que transformam a energia contida nos combustíveis em potência e torque para a movimentação de rodas, engrenagens, entre outros componentes de equipamentos, gerando assim movimento. Esse movimento é utilizado para diversos fins, conforme aplicação dos motores.

Durante a transformação de energia em trabalho pelo motor, este acaba gerando ou transformando parte desta energia dos combustíveis em calor, que, dependendo do processo e da utilização, pode vir a ser perdido em sua totalidade para o meio ambiente.

Todos os motores ou máquinas térmicas possuem um rendimento específico que se entende como uma relação entre o que entra como energia (dos combustíveis em certas misturas com o oxigênio do ar) e o que sai como trabalho líquido (energia totalmente transformada).

Geralmente os motores Ciclo Otto possuem rendimentos específicos que giram em torno de 25% e para os de Ciclo Diesel em torno de 35%, com quase toda a perda disposta na forma de calor, seja por atritos, lubrificação, arrefecimento ou escape [Heywood, 1988].

O motor *ciclo Otto* é um motor de combustão interna com ignição por centelha, que transforma em movimento a energia contida no combustível [Heywood, 1988].

O motor *ciclo Diesel* possui seu funcionamento similar ao do motor ciclo Otto, porém com uma diferença específica no processo de combustão, pois no ciclo Diesel a combustão da mistura ar-combustível se dá por um processo chamado de compressão do ar, conforme apresenta a Figura 3.1, e que faz com que toda a mistura contida na câmara de combustão seja transformada em trabalho ou calor perdido para o meio ambiente [Heywood, 1988].

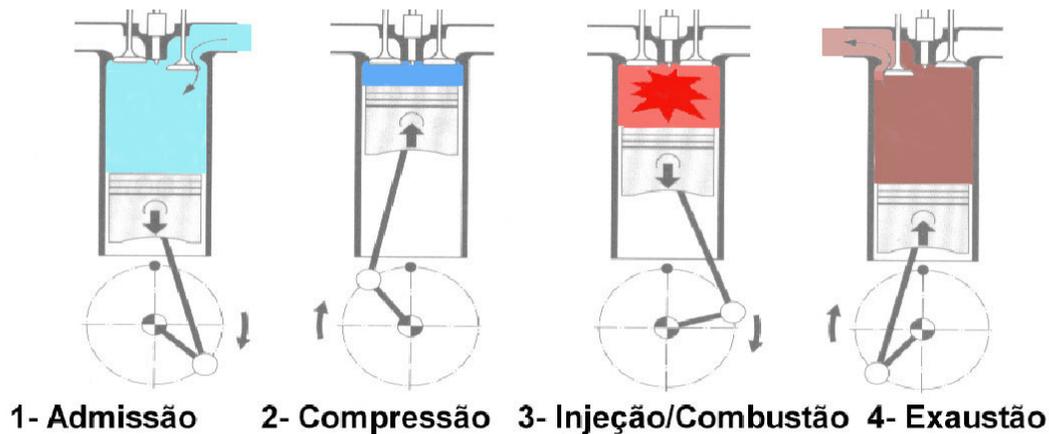


Figura 3.1 – Ciclo de trabalho 4 tempos Diesel. Adaptado de INMETRO (2000).

Detalhando um pouco mais o funcionamento destes tipos de motores, observa-se que a ignição (por centelha ou por compressão do ar) e a queima da mistura ar-combustível, ocorre dentro do cilindro (câmara de combustão). A energia de combustão assim liberada eleva a pressão dos gases já previamente comprimidos. Esta pressão de combustão, maior do que a pressão de compressão inicial, fornece ao cilindro e à árvore de manivelas uma energia transformada em trabalho. Após cada curso de combustão, os gases queimados são trocados por uma nova mistura ar-combustível.

Esta troca de gases ocorre, na maioria dos motores de combustão interna, em um ciclo de 4 tempos. A troca dos gases nos motores ciclo Otto de 4 tempos é comandada através das válvulas que abrem e fecham os canais de entrada e saída do cilindro.

Os 4 tempos de um ciclo de trabalho de um motor de ignição por centelha ou por compressão são descritos teoricamente como:

1º Tempo: Aspiração: válvula de admissão aberta, válvula de escapamento fechada e movimento do êmbolo para baixo com nenhuma combustão. O movimento descendente do êmbolo aumenta o volume do cilindro, aspirando assim a mistura ar-combustível, através da abertura da válvula de admissão;

2º Tempo: Compressão: válvula de admissão fechada, válvula de escapamento fechada e movimento do êmbolo para cima com nenhuma combustão. O movimento ascendente do êmbolo diminui o volume do cilindro, comprimindo assim a mistura ar-combustível. A taxa de compressão varia de 7 a 12, dependendo do tipo do motor e do combustível empregado;

3º Tempo: Combustão (trabalho): válvula de admissão fechada, válvula de escapamento fechada e movimento do êmbolo para baixo com realização da combustão. A ignição da mistura ar-combustível comprimida é obtida através da centelha da vela (motores ciclo Otto), ou por

compressão do ar (motores ciclo Diesel). Com a combustão da mistura eleva-se a temperatura dentro do cilindro e, com isto, também a pressão. Através desta variação de pressão dos gases de combustão, o êmbolo do cilindro é empurrado para baixo transmitindo assim, através da biela, um trabalho mecânico para o virabrequim;

4º Tempo: Escape: válvula de admissão fechada, válvula de escapamento aberta e movimento do êmbolo para cima com nenhuma combustão. O movimento ascendente do êmbolo diminui o volume do cilindro, expelindo assim os gases de combustão (gases oriundos do processo de combustão dentro das câmaras), através da abertura da válvula de escapamento. Após o 4º tempo recomeça-se um novo ciclo. Na prática, ocorre uma sobreposição de tempo de abertura das válvulas, através da qual os fluxos de gases e suas oscilações resultam em um melhor enchimento e esvaziamento do cilindro.

### 3.1.3.1 CICLOS DE POTÊNCIA

Para se analisar de forma mais avançada os processos de combustão, bem como os ciclos de potência, far-se-á uma análise simples dos diagramas pressão ( $P$ )-volume ( $v$ ) e diagrama temperatura ( $T$ )-entropia ( $s$ ).

#### 3.1.3.1.1 CICLO DE CARNOT

Como análise inicial dos ciclos de potência, apresentar-se-á aqui, de forma resumida, o ciclo desenvolvido por um motor térmico, teórico, chamado de ciclo de Carnot. Sadi Carnot publicou em 1823 uma brochura intitulada *Reflexões Sobre a Potência Motriz do Fogo*. Enunciava aí um ciclo ideal que, partindo da transformação de gases perfeitos, deveria ter um rendimento de aproximadamente 72%, o qual, aliás, nunca atingido por um motor térmico real [Martinelli Jr., 2005]. Conhecido com o nome de ciclo de Carnot, este ciclo teórico se compõe das seguintes fases, conforme apresentado na Figura 3.2:

$1 - 2 =$  expansão isotérmica;

$2 - 3 =$  expansão adiabática;

$3 - 4 =$  compressão isotérmica;

$4 - 1 =$  compressão adiabática.

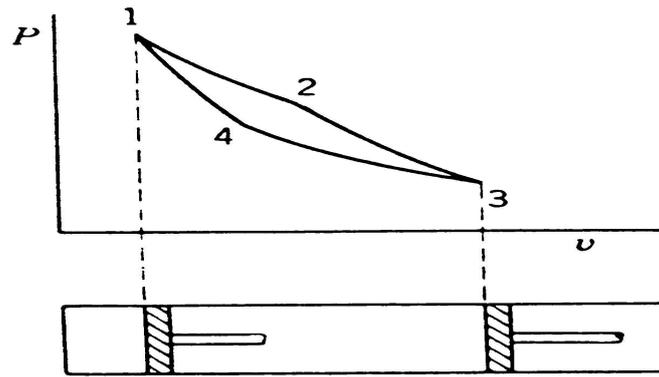


Figura 3.2 – Diagrama do ciclo de Carnot. Adaptado de Wylen (1995).

O ciclo de Carnot não pode ser objeto de nenhuma realização na prática e pode ser descrito teoricamente da seguinte maneira:

Primeira Fase (Compressão Isotérmica): Uma massa gasosa é introduzida no cilindro e depois comprimida pelo êmbolo a temperatura constante, sendo que o cilindro é resfriado durante esta fase;

Segunda Fase (Compressão Adiabática): Sendo interrompido o resfriamento do cilindro, continua-se a compressão rapidamente de modo que nenhuma troca de calor tenha lugar entre o gás e o cilindro.

Terceira Fase (Expansão Isotérmica): Enquanto que durante a compressão isotérmica o cilindro deve ser resfriado, durante a expansão isotérmica este mesmo cilindro exige aquecimento para tornar a temperatura constante.

Quarta Fase (Expansão Adiabática): Continuando o repouso, faz-se cessar o reaquecimento do cilindro para que essa fase se efetue sem troca de calor com o cilindro e que a massa gasosa retome o volume e a pressão que possuía no início da primeira fase.

O rendimento de um ciclo de Carnot depende somente das temperaturas nas quais o calor é fornecido ou rejeitado, dado pela Equação 3.1:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_4}{T_1} = 1 - \frac{T_3}{T_2} \quad (3.1)$$

Onde,

$\eta_t$  - Rendimento térmico para o ciclo de Carnot;

$T_x$  - Temperaturas de Operação em cada ponto do processo [K].

### 3.1.3.1.2 CICLO OTTO

Em 1862, Beau de Rochas enunciou o ciclo de 4 tempos que, primeiramente, o alemão Otto aplicaria a um motor térmico, de onde surgiram em algumas obras a designação de ciclo Otto. Teoricamente o ciclo Otto ocorre da seguinte maneira: compressão adiabática; elevação brutal da pressão em volume constante; expansão adiabática; baixa brutal de pressão em volume constante. Todo este processo é realizado à pressão atmosférica.

### 3.1.3.1.3 CICLO DIESEL

Teoricamente o ciclo Diesel ocorre conforme apresentado na Figura 3.3:

**1 - 2** = Compressão adiabática do ar puro aspirado;

**2 - 3** = Combustão em pressão constante;

**3 - 4** = Expansão adiabática;

**4 - 1** = Baixa brutal da pressão.

As fases para se definir teoricamente um ciclo Diesel são descritas como:

Primeira Fase - Compressão Adiabática: O ar puro aspirado anteriormente é comprimido e atinge uma temperatura suficiente para provocar a inflamação do combustível injetado;

Segunda Fase - Compressão Isobárica: No começo da distensão, a combustão efetua-se em pressão constante, quando o volume aumenta e a expansão dos gases compensa a queda de pressão devido ao aumento de volume;

Terceira Fase - Expansão Adiabática: A expansão efetua-se sem troca de calor com as paredes do cilindro;

Quarta Fase - Baixa de Pressão: A abertura brutal do escapamento produz uma queda rápida da pressão (volume constante).

Os motores ciclo Diesel dificilmente são aplicáveis a situações de regimes em operações com rotações muito elevadas, carros leves e veículos de desempenho esportivo. Os engenheiros que continuaram o trabalho de Diesel o substituíram por um motor de ciclo misto cujo funcionamento relaciona-se ao mesmo tempo com o ciclo Diesel e com o de Beau de Rochas (Otto). Outro fator interessante para se avaliar é que no ciclo Diesel a razão de compressão isoentrópica é maior do que a razão de expansão isoentrópica.

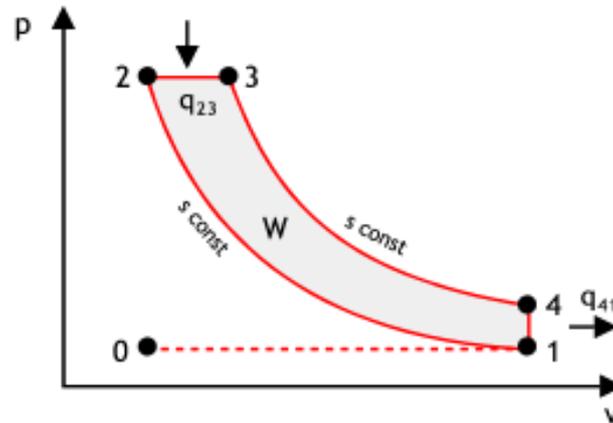


Figura 3.3 – Diagrama do ciclo Diesel. Adaptado de Martinelli Jr. (2005).

### 3.1.4 TORQUE E POTÊNCIA

O torque de um motor de combustão interna é a medida do momento que o motor é capaz de exercer e normalmente é medido por um dinamômetro especial acoplado ao seu eixo [Heywood, 1988].

Esta acoplagem normalmente é feita hidraulicamente ou por fricção mecânica. O torque medido em um dinamômetro é denominado *torque de freio*, e é dado pela Equação 3.2:

$$T_b = F \cdot b \quad (3.2)$$

Onde,

$T_b$  - Torque no freio [J];

$F$  - Força medida no freio [N];

$b$  - Comprimento de alavanca do freio [m].

A potência fornecida por um motor e absorvida pelo dinamômetro é o produto do torque pela velocidade angular do motor, ou seja, é a taxa com que o trabalho é produzido. A potência medida em um dinamômetro é denominada *potência de freio* e é dada pela Equação 3.3:

$$P_b = 2 \cdot \pi \cdot N \cdot T_b \quad (3.3)$$

Onde,

$P_b$  - Potência no freio [W];

$N$  - Velocidade angular [rad/s].

### 3.1.5 EFICIÊNCIA DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

O grau de eficiência de um motor de combustão interna, segundo alguns autores dentre estes Heywood, 1988, depende além de sua concepção, dos seguintes critérios: compressão, comportamento da combustão e mistura ar-combustível.

- Compressão: Quanto mais alta for a taxa de compressão, maior será o grau de eficiência térmica do motor de combustão e melhor será o aproveitamento do combustível.

A taxa de compressão está limitada através do limite de detonação.

Detonação significa combustão irregular da mistura provocada por auto-ignição, produzindo sobrecarga e danificações ao motor.

Através de uma mistura ar-combustível homogênea e do aproveitamento dos efeitos dos fluxos nos canais de aspiração, pode-se elevar o limite de detonação, de modo a possibilitar uma maior compressão.

- Comportamento da combustão: Para o comportamento e a qualidade da combustão em um motor de combustão interna é decisivo que o combustível esteja perfeitamente misturado com o ar (respeitando-se o ciclo de operação Otto ou Diesel), a fim de que no ciclo de combustão haja a queima da maneira mais perfeita possível.

Além disso, também é importante que a frente de chama se propague de forma uniforme, tanto no que diz respeito ao tempo, como quanto ao espaço do cilindro, até que toda a mistura tenha queimado.

O comportamento de combustão também é bastante influenciado pelo local onde se inicia a queima da mistura pela relação de mistura e de que modo esta mistura foi conduzida à câmara de combustão.

- Mistura ar-combustível: O consumo específico de combustível de um motor de combustão interna depende substancialmente da relação de mistura ar-combustível.

Como os motores de combustão interna trabalham na maioria do tempo na faixa de cargas parciais, a sua construção é orientada para um consumo baixo de combustível nestas faixas.

Para as outras faixas de operação (marcha lenta ou plena carga) é mais favorável uma composição de mistura mais rica em combustível.

O sistema de preparação da mistura deve poder satisfazer estas exigências variáveis [Martinelli Jr., 2005].

### 3.1.5.1 EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Em um motor de combustão interna, avaliando-se o sistema de admissão, várias são as restrições que impedem o enchimento por completo do cilindro.

Estas restrições podem ser, por exemplo, um filtro de ar, dutos de admissão, válvulas de admissão, entre outras.

A eficiência volumétrica é o parâmetro utilizado para medir a taxa efetiva de volume de ar deslocado pelo êmbolo, e a deficiência no enchimento do motor depende do seu projeto, devido principalmente às suas restrições e perdas de carga pelos dutos de admissão.

A eficiência volumétrica pode ser representada da seguinte forma pela equação a seguir:

$$\eta_v = \frac{m_a}{(\rho_{a,i}) \cdot (V_d) \cdot \left(\frac{N}{2}\right)} \quad (3.4)$$

Onde,

$\eta_v$  - Eficiência volumétrica;

$m_a$  - Massa de mistura que entra no motor [kg/s];

$\rho_{a,i}$  - Densidade da mistura na admissão [kg/m<sup>3</sup>];

$V_d$  - Volume deslocado por ciclo [m<sup>3</sup>].

Teoricamente sabe-se que, se a eficiência volumétrica for reduzida, diminuirá proporcionalmente o torque e a potência do motor de combustão interna [Heywood, 1988].

### 3.1.6 EFICIÊNCIA MECÂNICA E PRESSÃO MÉDIA EFETIVA

Devido ao fato dos motores de combustão interna possuírem baixos rendimentos, somente parte de toda energia produzida na combustão é convertida em potência efetiva [Heywood, 1988].

Parte desta energia é gasta em dissipações térmicas e para vencer as resistências passivas dos motores de combustão, tais como o atrito entre as partes móveis, o bombeamento dos gases de admissão e escape, o acionamento de grupos de acessórios como bombas, polias de componentes, entre outros. O rendimento mecânico ou eficiência mecânica ( $\eta_m$ ) é, portanto,

definida pela relação entre a potência produzida pela expansão dos gases no cilindro, também chamada de potência indicada, e a potência medida no eixo do motor. A expressão a seguir demonstra esta relação:

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_{c,ig}} = 1 - \frac{P_f}{P_{c,ig}} \quad (3.5)$$

Onde,

$P_f$  - Potência consumida pelas resistências passivas [W];

$P_b$  - Potência de freio [W];

$P_{c,ig}$  - Potência indicada bruta por ciclo [W].

Dentre todos os parâmetros de desempenho, um dos mais utilizados para projeto e desenvolvimento de motores é a conhecida pressão média efetiva ( $P_{me}$ ), que é obtida pela divisão entre o trabalho por ciclo e o respectivo volume deslocado.

Este importante parâmetro de projeto é obtido com unidades de força por unidade de área e pode ser expresso pela Equação 3.6.

Cabe ressaltar que, como a potência bruta não pode ser facilmente medida, utiliza-se então a potência média efetiva no freio, que é facilmente obtida em equipamentos dinamométricos.

Assim, o parâmetro de pressão mais utilizado é a pressão média efetiva no freio ( $P_{bme}$ ), que é demonstrada conforme a Equação 3.7:

$$P_{me} = \frac{P_{c,ig} \cdot n_r \cdot 10^3}{Vd \cdot N} \quad (3.6)$$

$$P_{bme} = \frac{P_b \cdot n_r}{Vd \cdot N} \quad (3.7)$$

Onde,

$P_{me}$  - Pressão média efetiva [kPa];

$n_r$  - Número de cursos de potência para cada ciclo (4 tempos,  $n_r=2$ ; 2 tempos,  $n_r=1$ );

$P_{bme}$  - Pressão média efetiva no freio [Pa].

### 3.1.7 CONSUMO ESPECÍFICO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

De acordo com alguns autores, o consumo específico de um motor de combustão interna é um ótimo parâmetro de comparação, usado para demonstrar a eficiência térmica do motor de combustão interna para transformar o combustível em trabalho.

O emprego deste parâmetro, na maioria das vezes, tem maior aceitação que o rendimento térmico, porque todas as variáveis envolvidas são medidas em unidade padrão: tempo, potência e peso.

Os motores ciclo Diesel possuem consumos específicos mais baixos que os motores de ciclo Otto, devido ao rendimento termodinâmico dos motores Diesel ser superior ao dos motores Otto, pois a relação de compressão do ciclo Diesel deve ser pelo menos duas vezes maior do que a do ciclo Otto, fazendo com que o rendimento seja superior e o consumo resultante seja inferior [Giacosa, 2000].

O consumo específico de conversão (*bsfc* – *brake specific fuel consumption*) representa uma taxa em que o motor de combustão interna ciclo Otto ou Diesel converte o combustível utilizado em trabalho útil específico, isto é, a taxa de fluxo de combustível admitido pelo motor de combustão interna dividido pela potência de freio [Heywood, 1988].

Esta taxa ou relação é definida pela Equação 3.8, apresentada abaixo:

$$bsfc = \frac{m_f}{P_b} \quad (3.8)$$

Onde,

*bsfc* - Consumo específico de combustível [kg/kW.h];

*m<sub>f</sub>* - Fluxo de massa de combustível [kg/s];

*P<sub>b</sub>* - Potência de freio [W].

## 3.2 COMBUSTÍVEIS PARA MOTORES CICLO DIESEL

Os combustíveis para motores de combustão interna podem ser classificados em 3 tipos específicos: sólidos, líquidos e gasosos, uns de origem mineral e outros de origem vegetal [ANP, 2008]. O enfoque básico deste trabalho está nos combustíveis líquidos, especificamente o óleo diesel e o biodiesel. Como base para o entendimento a respeito do assunto de combustíveis para motores de combustão interna operando com o ciclo Diesel, primeiramente algumas considerações são feitas a respeito do conhecido *ouro negro*, o petróleo. Segundo algumas referências, o petróleo, em geral, é uma mistura de compostos hidrocarbonetos, variando desde gases leves com estruturas químicas simples, até líquidos pesados tipo alcatrão e ceras de estruturas químicas complexas. A composição do petróleo é carbono e hidrogênio (basicamente), no qual a porcentagem de carbono varia de 83 a 87%, e a de hidrogênio de 11 a 14%. Os constituintes primários do petróleo bruto são: parafínicos, naftênicos, aromáticos e uma quantidade considerável de material asfáltico de estrutura química desconhecida [ANP, 2008].

### 3.2.1 PETRÓLEO

Substância oleosa de onde se extraem a gasolina, o combustível do avião, o gás de cozinha, os lubrificantes, borrachas, plásticos, tecidos sintéticos, uma infinidade de produtos indispensáveis à vida moderna.

O petróleo é concentrado debaixo da terra ou no fundo dos mares, geralmente em grandes profundidades. Segundo os geólogos, sua formação é o resultado da ação da própria natureza, que transformou em óleo e gás restos de animais e vegetais depositados há milhares de anos no fundo de antigos mares e lagos. Com o passar dos anos, outras camadas foram se depositando sobre esses restos de animais e vegetais, e a ação do tempo, do calor e da pressão transformou aquela matéria orgânica em petróleo [Camargo, 2003].

### 3.2.2 ÓLEO DIESEL

O combustível óleo diesel (comumente conhecido como diesel ou diesel automotivo), especificado pela ANP, 2008, é um dos vários derivados do petróleo. Conforme observado neste

capítulo, o diesel é utilizado para o funcionamento das máquinas térmicas conhecidas como motores ciclo Diesel. Um motor que opera com o combustível óleo diesel, ou simplesmente conhecido como diesel, é um motor a combustão interna por compressão, o qual se inicia por auto-ignição do combustível injetado no seio de uma massa de ar comprimido até ultrapassar a temperatura de ignição do combustível [Camargo, 2003].

Diversos aspectos referentes às propriedades do combustível óleo diesel, suas aplicações e especificações técnicas para aplicação em motores de combustão interna ciclo Diesel, são descritos e apresentados nos Anexos deste trabalho.

### **3.2.3 BIODIESEL**

Biodiesel, em uma definição geral, pode ser determinado como um combustível líquido derivado de biomassa renovável, que substitui total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores de ignição por compressão: automotivos (caminhões, tratores, camionetas, automóveis, etc), transportes (aquaviários e ferroviários) e estacionários (geradores de eletricidade etc). O biodiesel pode ainda substituir outros tipos de combustíveis fósseis na geração de energia, a exemplo do uso em caldeiras ou em geração de calor em processos industriais. O biodiesel é produzido a partir de diferentes matérias-primas, tais como óleos vegetais diversos (mamona, dendê, soja, girassol, amendoim, algodão etc), gorduras animais, óleos e gorduras residuais, por meio de diversos processos [ANP, 2008].

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), tem a sua própria definição, que é a utilizada para todos os efeitos legais e de controle de qualidade no Brasil [ANP, 2008]:

I – Biodiesel – B100: combustível composto de alquíésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, conforme a especificação contida, inicialmente, no Regulamento Técnico nº 4 de 2004;

II – Mistura de óleo diesel - Biodiesel (B2): combustível comercial composto de 98%, em volume, de óleo diesel, conforme a especificação da ANP, e 2% em volume de biodiesel, que deverá atender à especificação prevista, inicialmente, pela Portaria ANP nº 310, de 27 de Dezembro de 2001 (Revogada pela Portaria ANP nº 07 de 19 de Março de 2008), e suas alterações;

III – Mistura autorizada de óleo diesel - Biodiesel: combustível composto de biodiesel e óleo diesel, em proporção definida quando da autorização concedida para testes e uso experimental.

A definição Americana do Biodiesel, aceita pelo National Biodiesel Board, estabelece:

*Biodiesel é um combustível composto de mono-álquil-éster de cadeia longa de ácidos graxos, derivado de óleos vegetais ou gorduras animais, designado B100. Biodiesel é tipicamente produzido através da reação de óleos vegetais ou gorduras animais com álcool, como metanol ou etanol, na presença de catalisadores, para se produzirem mono-álquilésteres e glicerina, que é removida. O biodiesel resultante é derivado, em 10% de sua massa, do álcool reagido. O álcool utilizado na reação poderá ser proveniente de fontes renováveis.*

O biodiesel pode ser usado puro ou em mistura com o óleo diesel em qualquer proporção e tem aplicação singular quando em mistura com o óleo diesel de ultrabaixo teor de enxofre, porque lhe confere melhores características de lubricidade. O uso dos ésteres em adição de 5 a 8% para reconstituir essa lubricidade é visto como uma alternativa excelente.

Mundialmente passou-se a adotar uma nomenclatura bastante apropriada para identificar a concentração do biodiesel na mistura. É o biodiesel BXX, onde XX é a percentagem em volume do biodiesel à mistura. Por exemplo, o B2, B5, B20 e B100 são combustíveis com uma concentração de 2%, 5%, 20% e 100% de biodiesel, respectivamente. A experiência de utilização do biodiesel no mercado de combustíveis tem-se dado em quatro níveis de concentração: Puro (B100); Misturas (B20 – B30); Aditivo (B5); Aditivo de lubricidade (B2).

As misturas em proporções volumétricas entre 5% e 20% são as mais usuais, sendo que para a mistura B5 não é necessário nenhuma adaptação dos motores. O biodiesel é perfeitamente miscível e quimicamente semelhante ao óleo diesel mineral, podendo ser usado em motores do ciclo Diesel sem a necessidade de significantes ou onerosas adaptações. Por ser biodegradável, não-tóxico e praticamente livre de enxofre e aromáticos, é considerado um combustível alternativo menos poluente. Como se trata de uma energia alternativa e viável, o seu uso num motor ciclo Diesel convencional resulta normalmente, quando comparado com a queima do diesel mineral, numa redução razoável de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos [Biodieselbr, 2008].

Outro detalhe muito importante que vem deixando alguns pesquisadores preocupados são as falsas definições do combustível biodiesel. Portanto, é válido neste momento identificar o que não é biodiesel:

- Qualquer óleo vegetal puro: soja, girassol, canola, mamona, palma, babaçu, algodão e outros;
- Óleo vegetal misturado ao diesel, em qualquer quantidade;

--- Óleo vegetal misturado a qualquer outro combustível ou produto, sem seguir o método científico da transesterificação.

Cabe ressaltar que a mídia é a maior vilã nesses casos, ouvindo e dando espaço para experiências que muitas vezes não tem o devido elo com a teoria básica da química, da engenharia e até da filosofia do biodiesel. Portanto, é preciso tomar muito cuidado com alguns tipos de combustíveis sem regulamentações definidas e que são oferecidos no mercado, pois estes podem vir a trazer sérios problemas aos sistemas de alimentação e motrizes (danos graves aos componentes internos do motor, por exemplo). Os sistemas até podem funcionar, mas não há garantia quanto à sua durabilidade e prazo de vida útil.

### **3.2.3.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DO COMBUSTÍVEL BIODIESEL**

Durante a exposição mundial de Paris, em 1900, um motor ciclo Diesel foi apresentado ao público funcionando com óleo de amendoim. Os primeiros motores ciclo Diesel eram de injeção indireta. Tais motores eram alimentados por petróleo filtrado, óleos vegetais e até mesmo por óleos de peixe. O combustível especificado como óleo diesel somente surgiu com o advento dos motores diesel de injeção direta, sem pré-câmara. No Brasil, desde a década de 20, o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) já estudava e testava combustíveis alternativos e renováveis. Nos anos 60, as Indústrias Matarazzo buscavam produzir óleo através dos grãos de café. Para lavar o café de forma a retirar suas impurezas impróprias para o consumo humano, foi usado o álcool da cana-de-açúcar. A reação entre o álcool e o óleo de café resultou na liberação de glicerina, redundando em éster etílico, produto que hoje é chamado de biodiesel. Desde a década de 70, por meio do INT, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), vêm sendo desenvolvidos projetos de óleos vegetais como combustíveis, com destaque para o dendiesel. O uso energético de óleos vegetais no Brasil foi proposto em 1975, originando o Pró-óleo – Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos. Seu objetivo era gerar um excedente de óleo vegetal capaz de tornar seus custos de produção competitivos com os do petróleo. Com o envolvimento de outras instituições de pesquisas, da Petrobrás e do Ministério da Aeronáutica, foi criado o *PRODIESEL* em 1980. O combustível foi testado por fabricantes de veículos a diesel.

No final da década de 90 foram realizados testes em frotas de ônibus no Brasil com biodiesel de soja dos EUA, doado pela American Soybean Association (ASA).

Depois de amplamente testado e aprovado na Europa e nos EUA, a aceitação brasileira para o biodiesel se torna mais fácil. Não se trata simplesmente de adicionar biodiesel, ou substituir o óleo diesel: é necessário entender a revolução que ocorreria no campo, na indústria, no ambiente, na formação de renda, no nível de emprego, na oferta de alimentos e outros derivados de oleaginosas após a extração do óleo, no impacto no preço internacional, entre outros aspectos [ANP, 2008].

### **3.2.3.2 ASPECTOS GERAIS E DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL**

O aquecimento global, agravado pelo aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE) por fontes antrópicas, tem trazido grande preocupação à sociedade moderna. Esta preocupação levou os países da Organização das Nações Unidas a assinarem um acordo que estipulasse controle sobre as intervenções humanas no clima. Desta forma, o *Protocolo de Kyoto* determina que seus signatários, países desenvolvidos, reduzam suas emissões de gases de efeito estufa em 5,2%, em média, relativas ao ano de 1990, durante o período de 2008 a 2012. Para o segundo período de compromisso do *Protocolo de Kyoto*, com algumas negociações tendo início neste ano, a partir da Reunião das Partes em Montreal, existe uma tendência de que haja pressão sobre alguns países em desenvolvimento, como a China, a Índia e o Brasil, para que estes venham a ter algum tipo de meta de redução de emissões de poluentes [Portal Biodiesel, 2008].

O Brasil é um país que apresenta uma matriz energética considerada pouco poluente, ao contrário da China e da Índia, que dependem das matérias-primas não renováveis. O programa do biodiesel no Brasil, como um programa de governo, tem uma série de barreiras técnicas e econômicas a serem transpostas, e possui grande potencial, especialmente quando se pensa em substituição de fonte energética. Outro fator positivo é a questão dos benefícios sociais, amplamente contemplados neste programa [MME, 2008].

#### **3.2.3.2.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA**

Historicamente o Brasil detém uma forte participação de energias renováveis em sua Matriz Energética Nacional (MEN), a qual hoje representa uma parcela de 44%, enquanto no mundo esta participação é de 14%, segundo dados do Ministério de Minas e Energia [MME,

2008]. Esta característica se deve a uma forte participação da hidroeletricidade (14,5%), mas também, principalmente, da biomassa (29,1%). A lenha e carvão vegetal foram representativos na MEN, porém, desde a década de 80, vêm perdendo participação, substituídos principalmente pelo gás liquefeito de petróleo (GLP). O histórico da MEN mostra um ganho com a eficiência, dada pela substituição de lenha por GLP e eletricidade. Por outro lado, a substituição dos derivados de petróleo pela biomassa e eletricidade, este último na indústria, criou tecnologia e competência nacional para minimizar a dependência externa e os impactos deste setor na economia brasileira. Analisando o mercado futuro, num horizonte de 15 anos, existe uma tendência na MEN de manter sua característica renovável no horizonte estudado, mesmo com níveis críticos do potencial hidroelétrico.

### 3.2.3.2.2 A PRODUÇÃO DO BIODIESEL

O uso de óleos vegetais em motores do ciclo Diesel foi considerado pelo seu próprio inventor, porém a oferta crescente dos derivados do petróleo na primeira metade do século XX foi determinante para a adoção do uso de um dos seus derivados conhecido como óleo diesel.

A Tabela 3.1, apresenta alguns dos principais tipos de matérias-primas para a produção de biodiesel, bem como a produtividade média de cada um dos tipos destacados.

Tabela 3.1 - Principais tipos de matérias-primas para produção do Biodiesel (MME, 2008).

<b>Matéria-Prima</b>	<b>Óleo (%)</b>	<b>Produtividade – Grão (t/ha.ano)</b>	<b>Produtividade – Óleo (t/ha.ano)</b>
<b>Gorduras Animais</b>	100	-	-
<b>Mamona</b>	50	1,5	0,750
<b>Girassol</b>	42	1,6	0,672
<b>Amendoim</b>	39	1,8	0,702
<b>Gergelim</b>	39	1,0	0,390
<b>Canola</b>	38	1,8	0,684
<b>Dendê</b>	20	10,0	2,000
<b>Soja</b>	18	2,2	0,396
<b>Algodão</b>	15	1,8	0,270
<b>Babaçu</b>	6	15,0	0,900

É importante ressaltar que um dos principais insumos para a produção do biodiesel é o álcool, e a maioria das indústrias utiliza com maior frequência o metanol por razões técnicas e econômicas. Este álcool tem, porém, a desvantagem de possuir alta toxicidade, de ser proveniente de fontes não renováveis e de não haver auto-suficiência para a sua produção no Brasil. Por outro lado, o etanol possui a vantagem de ser obtido a partir de fontes renováveis, de ser produzido no Brasil com auto-suficiência e de não ser tóxico [Biodieselbr, 2008].

O biodiesel é uma evolução na tentativa de substituição do óleo diesel por biomassa, iniciada pelo aproveitamento de óleos vegetais *in natura*. A estrutura molecular do óleo vegetal é formada por três ésteres ligados a uma molécula de glicerina. As cadeias dos ácidos graxos têm número médio de carbonos variando entre 10 e 18. Esta característica é essencial considerando que o óleo diesel é constituído por hidrocarbonetos com número médio de carbono em torno de 14. A aplicação direta dos óleos vegetais nos motores é limitada devido a algumas das suas propriedades físicas como a alta viscosidade, baixa volatilidade que implicam em problemas nos motores, bem como numa combustão incompleta. Assim, para adequar as propriedades dos óleos vegetais para uso em motores, diferentes alternativas têm sido consideradas, tais como: diluição, micro-emulsão com metanol ou etanol, craqueamento catalítico e reação de transesterificação com metanol ou etano [Santos, 2007].

Considerando-se o biodiesel como produto, pode-se dizer que tem as seguintes características: (a) é virtualmente livre de enxofre e aromáticos; (b) tem alto número de cetano; (c) possui teor médio de oxigênio em torno de 11%; (d) possui maior viscosidade e maior ponto de fulgor que o diesel convencional; (e) possui nicho de mercado específico, diretamente associado a atividades agrícolas; (f) no caso do biodiesel de óleo de fritura, se caracteriza por um grande apelo ambiental e (g) tem preço de mercado relativamente superior ao diesel comercial.

O biodiesel pode ser obtido por transesterificação ou alcoólise, processo que consiste na reação de óleos vegetais com um intermediário ativo, formado pela reação de um álcool com um catalisador. A produção do biodiesel pode ser feita a partir de três reações básicas: (1) transesterificação do óleo a partir de catálise básica; (2) transesterificação direta do óleo a partir de catálise ácida e (3) conversão do óleo para ácidos graxos e depois para biodiesel.

As principais razões pelas quais a maioria dos fabricantes de biodiesel optam pela catálise básica é o emprego de baixa temperatura e pressão, alta taxa de conversão em baixo tempo de reação e ocorrência da conversão direta a biodiesel, sem formação de compostos intermediários [Santos, 2007].

A reação de transesterificação, conforme apresentado nas Figuras 3.4 e 3.5, consiste na reação de um óleo ou gordura com um álcool, na presença de um catalisador, produzindo glicerina e ésteres (biodiesel). O álcool é utilizado em excesso para evitar a ocorrência da reação em sentido inverso, sendo recuperado para reutilização. Os catalisadores comumente empregados são os hidróxidos de sódio ou os hidróxidos de potássio, já misturados ao álcool.

A transesterificação tem se apresentado como a melhor opção, visto que é um processo relativamente simples. Algumas pesquisas destacam que a reação de transesterificação pode ser realizada, empregando diversos tipos de alcoóis, preferencialmente os de baixo peso molecular, sendo que os mais estudados são o metanol e o etanol [Santos, 2007].

Quanto ao catalisador, podem-se empregar os do tipo ácido ou alcalino, ou, ainda, a catálise enzimática. Entretanto, geralmente a reação empregada na indústria é feita em meio alcalino, uma vez que apresenta melhor rendimento e menor tempo de reação que o meio ácido, além de apresentar menores problemas relacionados à corrosão dos equipamentos empregados no processo.

### Fluxograma do Processo de Produção de Biodiesel

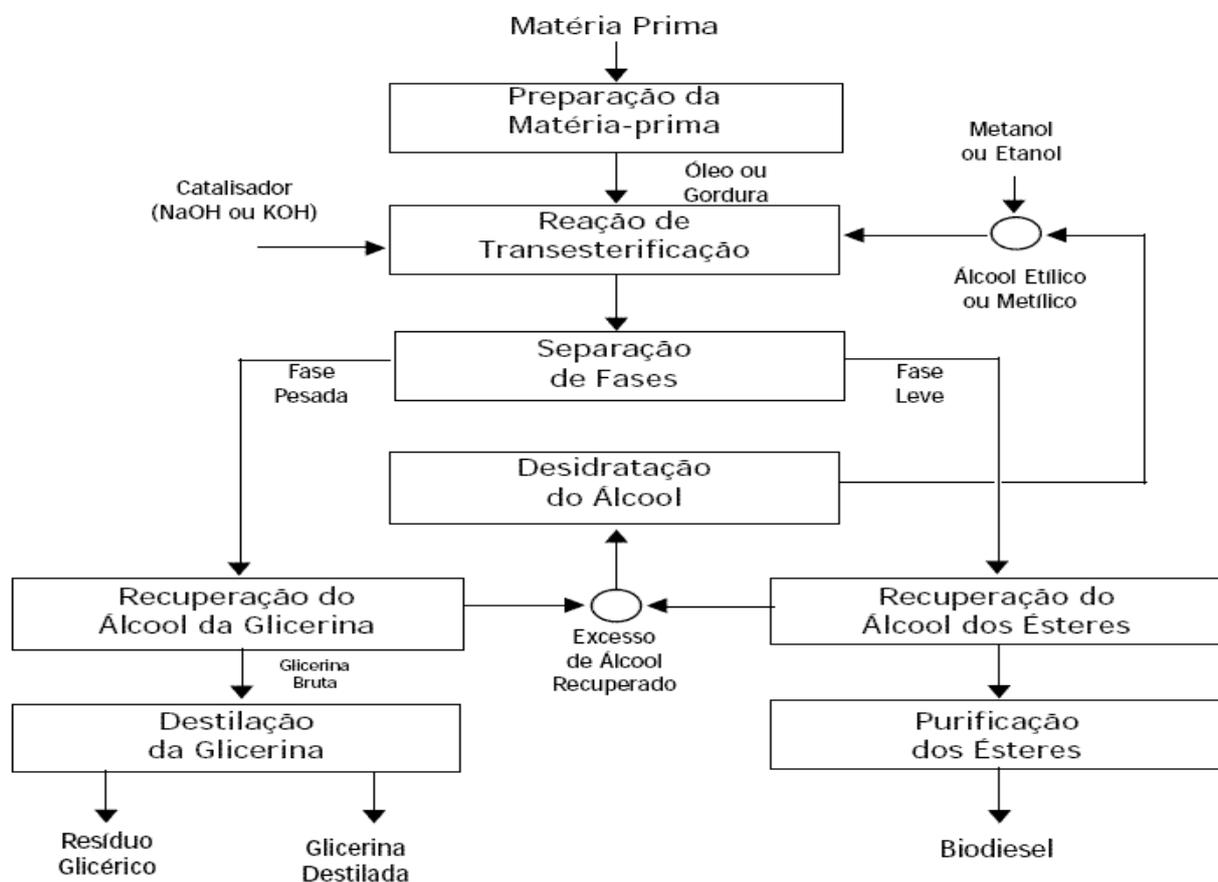


Figura 3.4 – Processo de produção do biodiesel. Adaptado de Biodieselbr (2008).

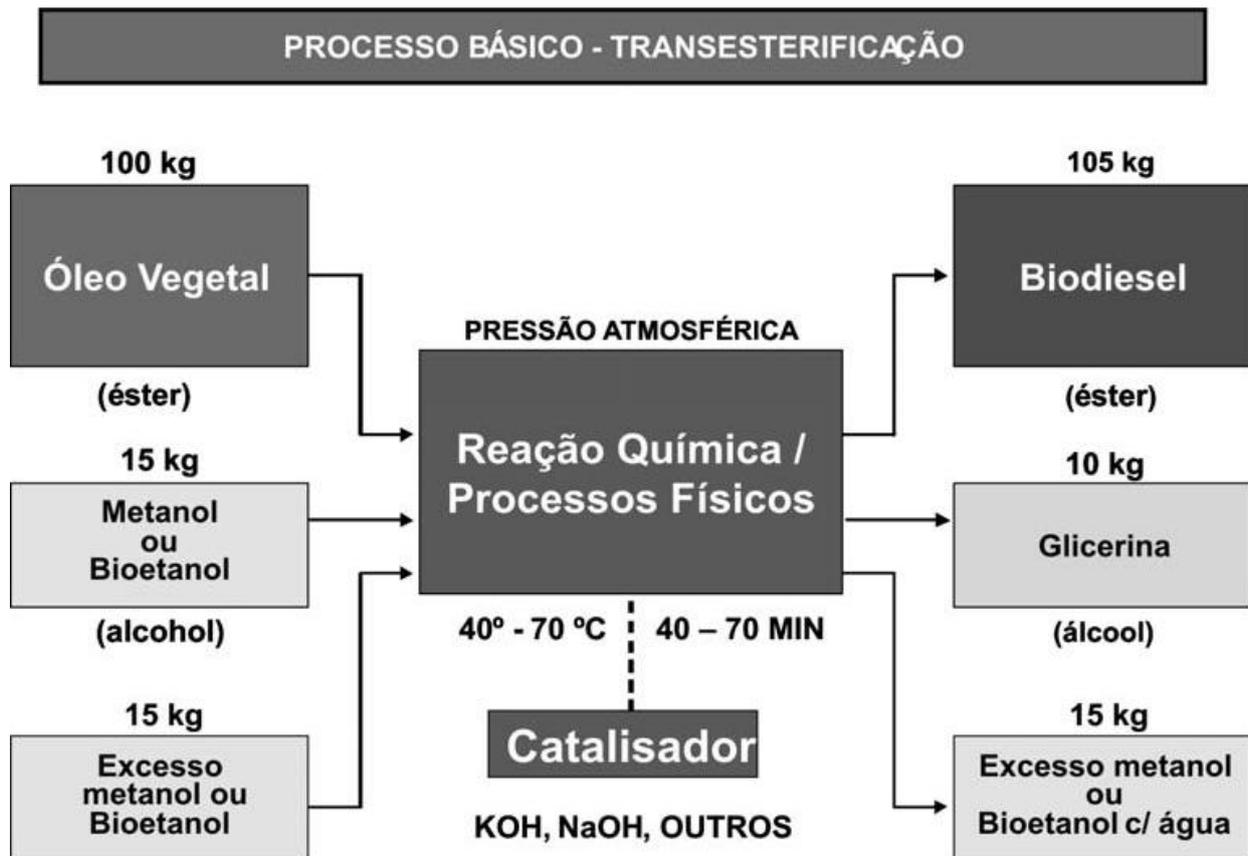
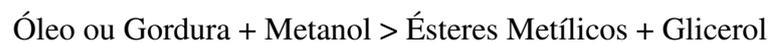


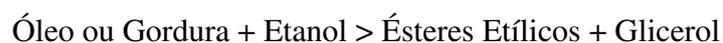
Figura 3.5 – Processo de transesterificação. Adaptado de MME (2008).

A reação com metanol é tecnicamente mais viável do que a reação com etanol hidratado, que apresenta uma dificuldade na separação da glicerina, além do fato de o teor de água aumentar o tempo da reação. O uso do etanol anidro minimiza este inconveniente, porém a dificuldade na separação da glicerina permanece a mesma do etanol hidratado, enquanto que no caso da reação com metanol essa separação pode ser feita por simples decantação.

A reação de transesterificação é a etapa da conversão, propriamente dita, do óleo ou gordura em ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, que constitui o biodiesel. A reação pode ser representada pelas seguintes definições químicas:



ou



A primeira reação química representa a conversão quando se utiliza o metanol (álcool metílico) como agente de transesterificação, obtendo-se, portanto, como produtos os ésteres metílicos que constituem o biodiesel, e o glicerol (glicerina). A segunda reação envolve o uso do

etanol (álcool etílico), como agente de transesterificação, resultando como produto o biodiesel, ora representado por ésteres etílicos mais glicerina.

Sob o ponto de vista objetivo, as reações químicas são equivalentes, uma vez que os ésteres metílicos e os ésteres etílicos tem propriedades equivalentes como combustível, sendo ambos considerados biodiesel [ANP, 2008]. No Brasil, a rota etílica tem sido a preferida em virtude da oferta desse álcool, de forma disseminada, em todo o território nacional. Assim, os custos diferenciais de fretes, para o abastecimento de etanol versus o abastecimento de metanol, em algumas situações, podem influenciar a decisão. Do ponto de vista ecológico, o uso do etanol leva vantagem sobre o metanol. Quando este álcool é obtido a partir de derivados do petróleo, no entanto, é importante lembrar que o metanol pode ser produzido a partir da biomassa, quando essa suposta vantagem ecológica pode desaparecer. Em todo o mundo, o biodiesel tem sido obtido via metanol [Biodieselbr, 2008].

### 3.2.3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO BIODIESEL

As características físicas e químicas do biodiesel são semelhantes entre si, independente de sua origem. Essas características são quase idênticas, não importando a natureza da matéria-prima e do agente de transesterificação [ANP, 2008]. Algumas dessas características são muito importantes e são estudadas neste capítulo.

**Combustibilidade** de uma substância, proposta como um combustível, diz respeito ao seu grau de facilidade em realizar a combustão no equipamento da forma desejada, na produção de energia mecânica mais adequada. Em motores diesel a combustibilidade relaciona as seguintes propriedades essenciais do combustível: poder calorífico e o índice de cetano.

**Viscosidade cinemática** e a **tensão superficial** definem a qualidade de pulverização na injeção do combustível, participando também como fatores de qualidade na combustão.

**Impactos ambientais das emissões** constituem uma característica básica importante, pois a fauna e a flora precisam ser preservadas. O teor de enxofre e de hidrocarbonetos aromáticos, além da combustibilidade, são características importantes inerentes aos impactos das emissões.

**Compatibilidade ao uso** diz respeito à longevidade, não somente do motor como de seus periféricos, representada pela lubrificidade e pela corrosividade, sendo esta última definida principalmente pelo teor de enxofre e pela acidez do combustível.

**Compatibilidade ao manuseio** diz respeito aos transportes, ao armazenamento e à distribuição do combustível, sendo a corrosividade, a toxidez e o ponto de fulgor as propriedades mais importantes. Durante o inverno nos países mais frios, o ponto de fluidez torna-se também uma importante propriedade, sinalizando para a adição de aditivos anticongelantes.

Um comparativo bem interessante entre algumas propriedades definidas para cada tipo de biodiesel de diferentes origens pode ser avaliado conforme o que apresenta a Tabela 3.2. É importante ressaltar que o combustível biodiesel oriundo do óleo de mamona foge um pouco dessa regra no que diz respeito à viscosidade. No entanto, as demais propriedades são inteiramente equivalentes. Todavia, o uso do biodiesel de mamona, em misturas com o óleo diesel mineral, constitui um artifício para corrigir tal distorção. Além disso, estudos mostram que a lubricidade do biodiesel de mamona é maior entre os produzidos a partir de óleos vegetais.

Dentro de todas as propriedades físico-químicas do combustível biodiesel que foram estudadas por alguns autores, podemos destacar algumas em função de sua importância técnica, tais como:

1. **Ponto de névoa e de fluidez:** O ponto de névoa é a temperatura em que o líquido, por refrigeração, começa a ficar turvo, e o ponto de fluidez é a temperatura em que o líquido não mais escoava livremente. Tanto o ponto de fluidez como o ponto de névoa do biodiesel variam segundo a matéria-prima que lhe deu origem e, ainda, o álcool utilizado na reação. Estas propriedades são consideradas importantes no que diz respeito à temperatura ambiente onde o combustível deva ser armazenado e utilizado. Todavia, no Brasil, de norte a sul, as temperaturas são amenas, não constituindo nenhum problema de congelamento do combustível, sobretudo porque pretende-se usar o biodiesel em misturas com o óleo diesel mineral;

2. **Ponto de fulgor ou flash point:** O ponto de fulgor do biodiesel, se completamente isento de metanol ou etanol, é superior à temperatura ambiente, significando que o combustível não é inflamável nas condições normais onde ele é transportado, manuseado e armazenado, servindo, inclusive, para ser utilizado em embarcações;

3. **Poder calorífico:** O poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral. A diferença média em favor do óleo diesel do petróleo situa-se na ordem de somente 5%; entretanto, com uma combustão mais completa, o biodiesel possui consumo específico equivalente ao diesel mineral;

4. Índice de cetano: O índice de octano ou octanagem dos combustíveis está para motores do ciclo Otto, da mesma forma que o índice de cetano ou cetanagem está para os motores do ciclo Diesel; portanto, quanto maior for o índice de cetano de um combustível, melhor será a combustão do mesmo em um motor Diesel. O índice de cetano médio do biodiesel é 60, enquanto para o óleo diesel mineral este índice varia entre 48 e 52 [ANP, 2008].

Em relação às propriedades de caráter químico do combustível biodiesel, podemos destacar algumas em função de sua grande importância técnica, tais como:

5. Teor de enxofre: Como os óleos vegetais e as gorduras de animais não possuem enxofre, o biodiesel é completamente isento desse elemento;

6. Poder de solvência: O biodiesel, sendo constituído por uma mistura de ésteres de ácidos carboxílicos, solubiliza um grupo muito grande de substâncias orgânicas, incluindo as resinas que compõem as tintas. Assim sendo, cuidados especiais com o manuseio do biodiesel devem ser tomados para evitar danos à pintura dos veículos, nas proximidades do bocal de abastecimento.

As normas européias e americanas determinam valores para as propriedades e características do biodiesel e os respectivos métodos para as determinações. Tais características e propriedades determinantes dos padrões de identidade e qualidade do biodiesel, contemplados pelas normas ASTM, são: ponto de fulgor, teor de água e sedimentos, viscosidade, cinzas, teor de enxofre, corrosividade número de cetano, ponto de névoa, resíduo de carbono, número de acidez, teor de glicerina total, teor de glicerina livre, temperatura de destilação para 90% de recuperação.

Os métodos de análise para biodiesel são os mesmos do diesel, com exceção do teor de glicerina total e livre, onde o método de análise se dá por cromatografia gasosa, orientado pelas Normas ASTM. Todavia, as realizações e o cumprimento de todas as especificações técnicas são muito importantes para o biodiesel. Com relação à corrosividade, em princípio, a experiência prática demonstra que a corrosividade do biodiesel neutro é zero, e que, com acidez elevada, o Biodiesel apresenta-se como corrosivo, existindo uma correlação entre o índice de acidez e a corrosividade. Por outro lado, em certas circunstâncias, existem conveniências práticas e econômicas em direcionar o processo de produção de biodiesel, de forma que resulte um produto com índice de acidez consideravelmente elevado, comprometendo a sua corrosividade na forma pura (B100). No entanto, diluindo o diesel mineral com esse biodiesel ao nível de até 20%, a corrosividade poderá se ajustar a um valor da corrosividade aceitável e, neste caso, o resultado sugere que os testes de corrosividade na lâmina de cobre seja realizado, não com o biodiesel puro, mas com a mistura de biodiesel e diesel mineral [MME, 2008].

Um ponto muito importante para se avaliar, com relação às propriedades do biodiesel

oriundo de diversas formas vegetais, é a viscosidade. Verifica-se que, pela Tabela 3.2, a seguir, que a viscosidade para o biodiesel obtido do óleo de mamona é extremamente elevada. A presença de um agrupamento hidroxila na molécula confere ao óleo a alta viscosidade devido à formação de pontes de hidrogênio. O uso de um combustível com estas características provocaria sérios danos ao sistema de injeção de combustível em motores de combustão interna, pois implicaria em uma sobrecarga mecânica e lubrificação deficiente no sistema, o que acelera o desgaste dos componentes envolvidos no processo de alimentação da máquina térmica. Além disso, o processo de combustão também é afetado, pois a viscosidade elevada dificulta a pulverização do combustível, ocasionando uma reação de combustão incompleta do combustível dentro da câmara de combustão, com conseqüente aumento de emissões e redução da potência do motor. O agrupamento hidroxila confere à molécula um átomo a mais de oxigênio, o que aumenta a quantidade de água combinada, reduzindo assim o poder calorífico. A diferença na densidade relativa entre os diferentes tipos de biodiesel também deve ser considerada como um ponto muito importante, pois a dosagem do combustível, em geral, é baseada no volume deslocado para os bicos injetores do sistema de alimentação dos motores de combustão interna ciclo Diesel. Caso a densidade seja diferente da densidade prevista, a massa de combustível também será diferente e conseqüentemente haverá alteração do consumo específico, potência, torque e emissões [Santos, 2007].

Tabela 3.2 - Principais propriedades dos óleos vegetais em relação ao óleo diesel (MME, 2008).

<b>Tipo de Vegetal</b>	<b>Nº de Cetano</b>	<b>PCS (kJ/kg)</b>	<b>Viscosidade cinemática (mm<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Ponto de Névoa (°C)</b>	<b>Ponto de Fluidez (°C)</b>	<b>Ponto de Fulgor (°C)</b>
<b>Óleo Vegetal</b>						
<b>Babaçu</b>	38	-	-	-	-	-
<b>Mamona</b>	-	39500	297 (38°C)	-	-	-
<b>Milho</b>	37,6	39500	34,9 (38°C)	-	-	-
<b>Dendê</b>	42	-	-	-	-	-
<b>Soja</b>	37,9	39623	32,6 (38°C)	-2,9	-12,2	254
<b>Girassol</b>	37,1	39575	37,1 (38°C)	7,2	-15,0	274
<b>Éster Metílico</b>						
<b>Soja</b>	46,2	39800	4,08 (40°C)	2	-1	171
<b>Girassol</b>	46,6	39800	4,22 (40°C)	0	4	-
<b>Éster Etilico</b>						
<b>Dendê</b>	56,2	39070	4,5 (37,8°C)	8	6	190
<b>Soja</b>	48,2	40000	4,41 (40°C)	1	-4	174
<b>Óleo Diesel</b>						
<b>Óleo Diesel</b>	47	45343	2,7 (38°C)	15,0	-33,0	52

A Tabela 3.2 apresenta um resumo com as principais propriedades dos óleos vegetais, dos ésteres metílicos e etílicos, permitindo uma comparação com o óleo diesel. De acordo com a Tabela 3.2, o ponto de fulgor dos ésteres é menor do que o ponto de fulgor dos óleos vegetais. No entanto, em todos os casos, os valores obtidos ficaram acima do valor mínimo previsto para o óleo diesel. Isso significa que tanto o biodiesel quanto os óleos vegetais são mais seguros do que o óleo diesel. Os pontos de fluidez e de névoa apresentam-se com algumas variações entre os diferentes tipos de óleos vegetais, sendo que o óleo de mamona possui o ponto de fluidez que mais se aproxima ao do óleo diesel. Em geral as temperaturas dos pontos de fluidez e de névoa aumentam após a conversão do óleo vegetal em biodiesel. O éster etílico obtido do óleo de dendê, por exemplo, apresentou temperaturas de 8°C e 6°C respectivamente para os pontos de névoa e fluidez. Dependendo da temperatura ambiente, poderão ocorrer problemas de fluxo de combustível, ocasionando dificuldade ou impedimento de partida a frio no motor [Santos, 2007].

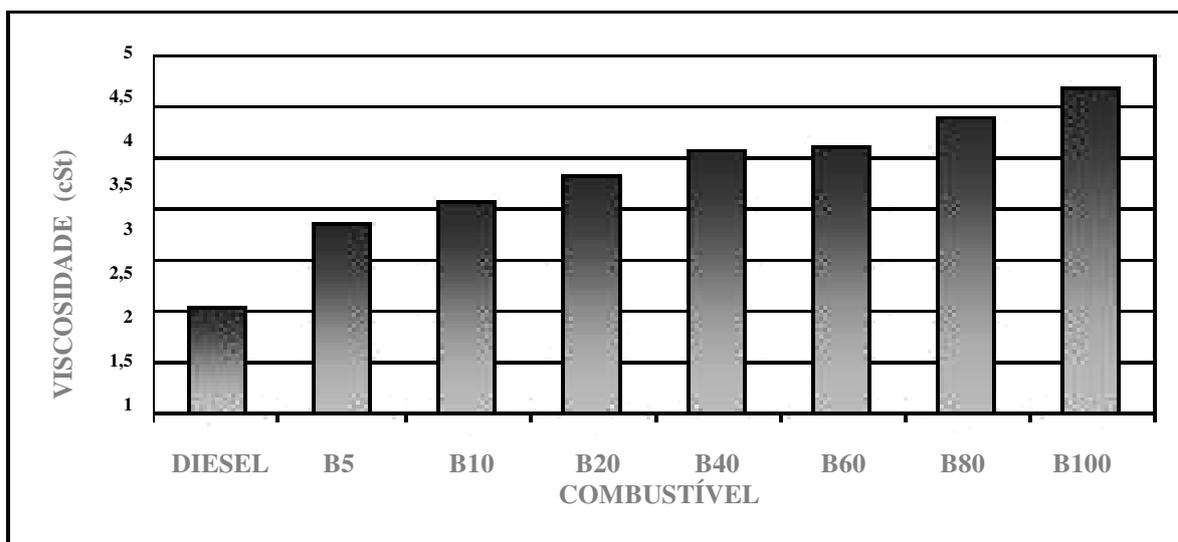


Figura 3.6 – Combustível X Viscosidade (Biodiesel). Adaptado de Santos (2007).

Observa-se na Figura 3.6 que a viscosidade, que é uma propriedade muito importante do biodiesel, aumenta em função do acréscimo de biodiesel empregado na mistura. Da mesma forma que a viscosidade, observa-se na Figura 3.7, a densidade da concentração biodiesel-óleo diesel aumenta em função do aumento da quantidade de biodiesel na mistura. Esta propriedade é importante, pois a dosagem do combustível nos motores ciclo Diesel é feita com base na medição do volume deslocado para os bicos injetores.

De acordo com a Resolução ANP nº 07 de 19.03.2008, que trata das especificações para o biodiesel B100, a massa específica da mistura biodiesel-óleo diesel deve obedecer aos limites

estabelecidos na especificação vigente da ANP para o óleo diesel automotivo, cujos valores são aproximadamente de 0,820 a 0,870 g/cm<sup>3</sup> para o óleo diesel a ser comercializado nas regiões metropolitanas.

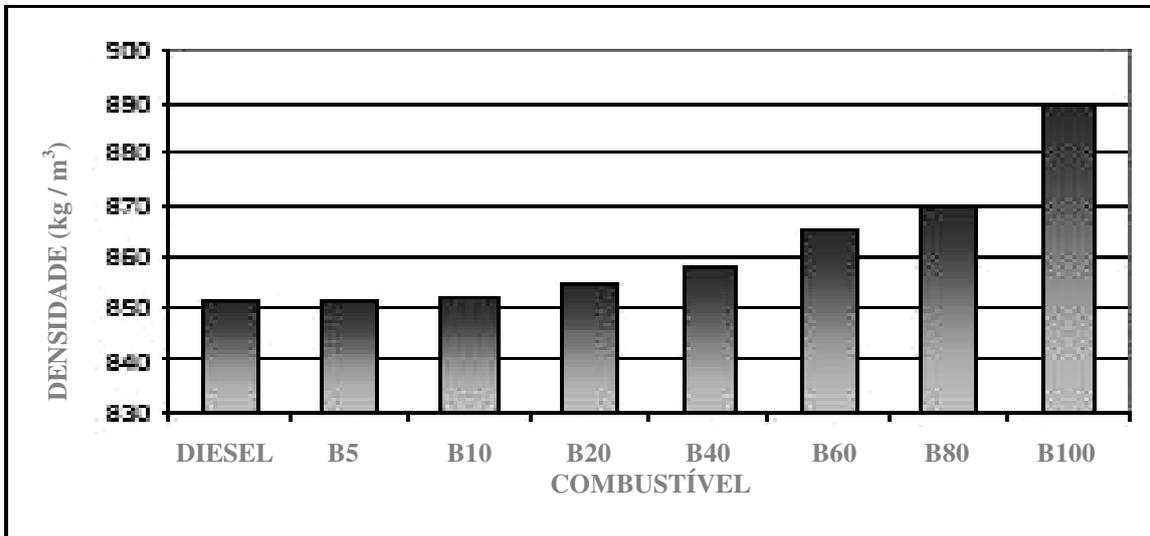


Figura 3.7 – Combustível X Densidade (Biodiesel). Adaptado de Santos (2007).

### 3.3 ANÁLISE DE GASES EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

No início da construção e desenvolvimento dos primeiros motores de combustão interna não havia a preocupação com agentes químicos especiais que eram produzidos durante o processo de combustão e liberados pelos sistemas de exaustão dos motores. Com a constante aplicação destes motores de combustão interna, principalmente em automóveis, a partir de 1960 houve um aumento significativo da preocupação do homem em relação aos gases de exaustão emitidos por estas máquinas térmicas.

Hoje, o conhecimento exato dos gases de exaustão, sua formação na câmara de combustão e conseqüências na atmosfera, possibilita à engenharia de desenvolvimento de motores de combustão interna e indústria automobilística controlar essas emissões, reduzindo ao máximo sua formação na câmara de combustão. Esta tecnologia, desenvolvida em novos motores de combustão interna e dispositivos catalíticos, transforma gases nocivos em gases inertes à atmosfera do planeta. Como já foi visto, o processo de combustão sob condições ideais transforma a energia química contida no combustível em energia mecânica. Teoricamente, os resíduos desta combustão deveriam ser apenas dióxido de carbono, água e nitrogênio, gases inofensivos ao meio ambiente. Porém, na realidade, quando analisamos os gases de exaustão, observa-se também a presença de gases nocivos ao meio ambiente, pois nem sempre é possível manter as condições ideais do funcionamento. Variáveis como carga, temperatura e velocidade interferem na qualidade da combustão, entre outras, gerando resíduos nocivos ao meio ambiente. A principal causa de gases nocivos é a queda de temperatura na câmara de combustão. Quando a vela de ignição inflama a mistura (caso do motor ciclo Otto), ela se expande, atingindo toda a superfície da câmara até partes mais frias. Ao perder a força de expansão, a temperatura dos gases cai a um ponto onde não é mais possível sustentar a combustão e assim é possível que o combustível não tenha sido completamente queimado, sendo então expelido para o sistema de exaustão, gerando a terrível poluição atmosférica. Durante o processo de combustão há ainda outro fator a ser considerado, que é a relação ar/combustível. As emissões veiculares são reflexos dos balanços entre a tecnologia, as condições de manutenção do motor, o comportamento na operação e as especificações do combustível [Kleeman, 2000]. As principais fontes de poluentes num veículo (motor de combustão interna) dividem-se em 4 tipos:

- Emissão evaporativa: Devido às variações de pressão e temperatura ambiente, uma quantidade de combustível é lançada na atmosfera por meio de respiros de alívio de pressão do reservatório de combustível e do sistema de alimentação [Branco, 1990]. Atualmente, essa

emissão é coletada e encaminhada para um recipiente de carvão ativado (*canister*).

- Emissão de partículas: A emissão de partículas para o ambiente pode ser originada por uma série de sistemas no motor de combustão, como: elementos de atrito dos componentes do motor (internos e externos) e nas emissões gases pelo sistema de exaustão, que é a base para este estudo em motores de combustão interna. Pelo sistema de exaustão são emitidas partículas e óxidos metálicos, fuligem (carbono com hidrocarbonetos adsorvidos) e, em alguns casos, partículas que se desprendem do conversor catalítico e dos abafadores de ruído [Branco, 1990]. O material particulado compõe-se de partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar nas formas de fumaça, poeira, neblina, dentre outras, cujo diâmetro pode ser de até 100  $\mu\text{m}$ . As partículas inaláveis (PM 10) possuem diâmetro inferior a 10  $\mu\text{m}$ , enquanto as poeiras respiráveis (PM 2,5) são partículas com diâmetros menores que 2,5  $\mu\text{m}$ . Quanto menor o tamanho da partícula, maior o efeito nocivo à saúde, pois os alvéolos pulmonares podem ser alcançados e as partículas depositadas no aparelho respiratório.

De acordo com estudos realizados por órgãos oficiais em algumas regiões metropolitanas do país, a fração fina predomina no material particulado inalável (PM 10), constituindo cerca de 60% do total. A formação de material particulado no escapamento dos motores é fortemente dependente da queima de combustível e do óleo lubrificante, bem como do desgaste de rolamentos e materiais. Vale ressaltar que os particulados são produzidos principalmente por motores do ciclo Diesel, sendo emitidos numa quantidade muito pequena por motores do ciclo Otto [Bosch, 2005].

O material particulado originado dos combustíveis é formado por frações de compostos insolúveis, como fuligem (carbono), sulfatos, águas e cinzas, e frações de compostos solúveis provenientes do lubrificante e do combustível. A composição elementar da partícula pode variar, dependendo da qualidade do diesel, do desempenho do motor e do modo de operação. Entretanto, apresenta como composição básica: 70% em massa de carbono, 20% de oxigênio, 3% de enxofre, 1,5% de hidrogênio, menos que 1% de nitrogênio e, aproximadamente, 1% de elementos traços. A Figura 3.8 apresenta um modelo simplificado do processo de formação da fuligem na câmara de combustão, que normalmente ocorre em regiões ricas em combustíveis e elevadas temperaturas. O processo tem início com a pirólise das moléculas do combustível que se encontram em fase gasosa, formando as moléculas precursoras do particulado. Na etapa de nucleação, essas moléculas formadas crescem em pequenos núcleos. No crescimento da superfície, etapa subsequente, as moléculas precursoras, de tamanho inicial entre 1 nm e 2 nm, aumentam para diâmetros na faixa de 10 nm a 30 nm. A relação hidrogênio/carbono (H/C)

diminui nesse período, devido às reações de desidrogenação. Simultaneamente ao crescimento ocorre a aglomeração ou coagulação. Neste processo, os núcleos carbônicos de pequeno diâmetro colidem e se unem, formando partículas maiores e aproximadamente esféricas. A condensação, última etapa do processo de formação da fuligem, ocorre fora da câmara de combustão, e os particulados, agora com diâmetros aerodinâmicos da ordem de 20 nm, colidem formando estruturas tipo cadeias, com dimensões finais de algumas centenas de nanômetros [Braun, 2003].

Os hidrocarbonetos de baixa pressão de vapor, os sulfatos, o ácido sulfúrico e a água, bem como o combustível e o óleo lubrificante não queimado, começam a adsorver-se sobre o material particulado enquanto ainda estão dentro da câmara de combustão. A adsorção continua conforme os componentes da exaustão são resfriados e diluídos, devido à passagem desses pela tubulação de exaustão. Essas substâncias contribuem para aumentar a massa do particulado produzido, encerrando o processo de formação.

Os motores do ciclo Diesel emitem partículas com diâmetro aerodinâmico  $< 10 \mu\text{m}$ , com diâmetro aerodinâmico  $< 2,5 \mu\text{m}$  (partícula fina), com diâmetro aerodinâmico  $< 0,10 \mu\text{m}$  (partícula ultrafina) e com diâmetro aerodinâmico  $< 0,05 \mu\text{m}$  [Kittelson, 2002].

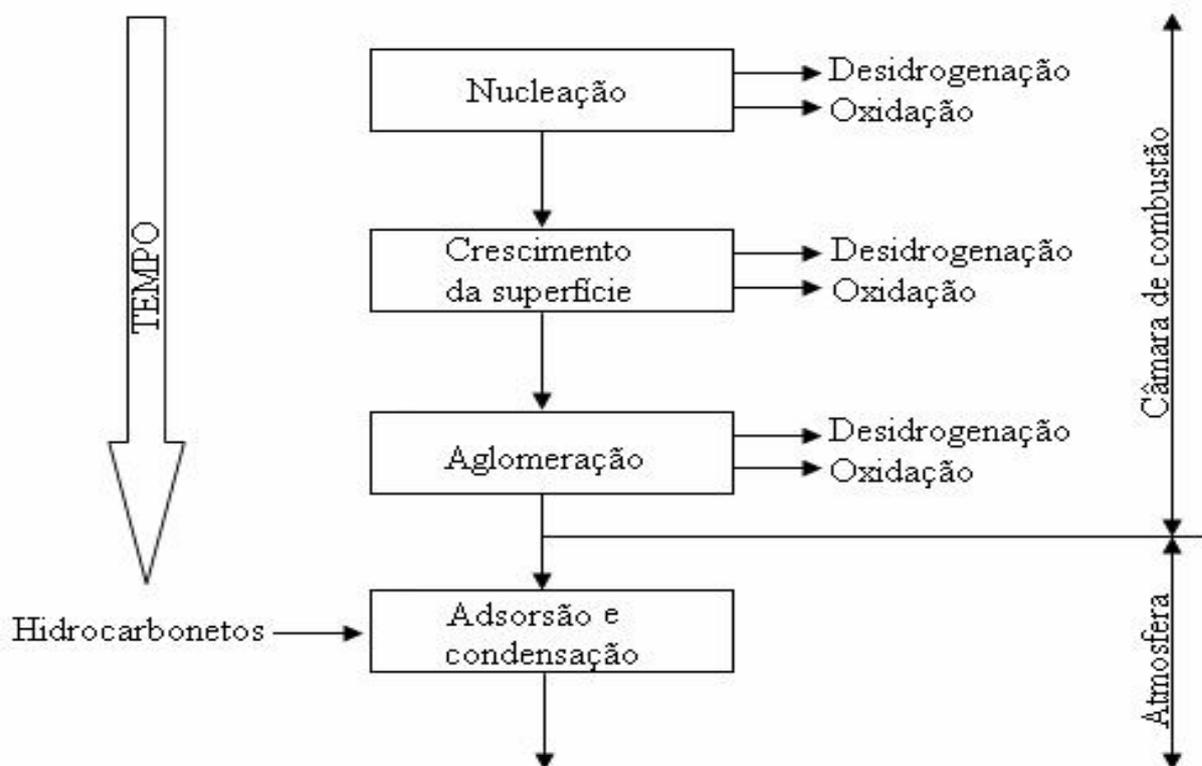


Figura 3.8 – Processo de formação da fuligem. Adaptado de Braun (2003).

### 3.3.1 GASES DE EXAUSTÃO

Nesta fase do trabalho, faz-se uma avaliação dos gases de exaustão produzidos nos motores de combustão interna, bem como uma análise da forma de trabalho dos analisadores de gases em emissões nestes motores de combustão. O conceito básico da combustão em motores é:



Numa queima ideal, somente sai pelo escapamento  $\text{CO}_2$  e água, porém a queima num motor de combustão interna (ciclo Otto ou ciclo Diesel) nunca é ideal, e nesse caso saem também pelo sistema de exaustão outros componentes que são provenientes de uma queima incompleta e irregular do combustível (mistura ar/combustível), em função do processo de combustão, conforme descrito no capítulo de motores de combustão interna [Heywood, 1988]. As concentrações das emissões em motores de combustão interna são usualmente medidas em partes por milhão (ppm), partes por cem ou percentual em volume. No entanto, é comum indicá-las em emissões específicas, ou seja, o fluxo de gases poluentes pela potência de saída em [g/kW.h], conforme equações definidas abaixo. Os índices mais usuais de emissões são o óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e particulados.

$$sNO_x = \frac{m_{NO_x}}{P_{out}} \cdot 3,6 \times 10^9 \quad (3.9)$$

$$sCO = \frac{m_{CO}}{P_{out}} \cdot 3,6 \times 10^9 \quad (3.10)$$

$$sHC = \frac{m_{HC}}{P_{out}} \cdot 3,6 \times 10^9 \quad (3.11)$$

Onde,

$sNO_x$  - Emissão específica de óxido de nitrogênio [g/kW.h];

$sCO$  - Emissão específica de monóxido de carbono [g/kW.h];

$sHC$  - Emissão específica de hidrocarbonetos [g/kW.h];

$m_{NO_x}$  - Fluxo de massa de óxido nítrico [kg/s];

$m_{CO}$  - Fluxo de massa de monóxido de carbono [kg/s];

$m_{HC}$  - Fluxo de massa de hidrocarbonetos [kg/s];

$P_{out}$  - Potência específica de saída [kW].

Os motores de combustão interna ciclo Otto e Diesel apresentam, como resultado do processo de combustão, as emissões de gases que, quando analisadas de maneira correta, permitem avaliar o real funcionamento do motor de combustão interna. Alguns desses gases emitidos são poluentes e por isso são controlados pela legislação nacional através do Programa Nacional de Controle de Emissões Veiculares [CONAMA, 2008].

### 3.3.2 ANALISADORES DE GASES DE EXAUSTÃO

Neste ponto do trabalho são realizadas algumas considerações a respeito da análise de gases e características dos diferentes tipos de processos envolvendo os atuais analisadores de gases de combustão interna de motores.

É conveniente destacar que existem uma série de normas e resoluções do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) e CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) que regulamentam todas as formas de análise de gases, níveis permitidos, tipos de equipamentos necessários e prazos para a aferição dos mesmos. Encontram-se hoje no mercado analisadores de gases infravermelhos de 4 gases (*CO*, *CO<sub>2</sub>*, *HC* e *O<sub>2</sub>*) e de 5 gases (*CO*, *CO<sub>2</sub>*, *HC*, *O<sub>2</sub>* e *NO<sub>x</sub>*), pra motores ciclo Otto e analisadores de gases para o ciclo Diesel, conhecidos como Opacímetros.

É importante destacar que para algumas avaliações de gases de escape em motores ciclo Diesel, conforme necessidades de fabricantes ou consumidores, pode ser empregado outro tipo de equipamento para a coleta e análise do teor de fuligem. Tal equipamento é conhecido tecnicamente como Amostrador por Elemento Filtrante, que, conforme apresentado no Capítulo 6 deste trabalho, é o que foi utilizado nas análises dos índices de fumaça dos motores monocilíndricos ensaiados em dinamômetro.

- Analisadores para motores de combustão interna ciclo Otto: O analisador de gases de combustão utiliza a técnica por infravermelho, que se baseia na absorção seletiva de cada gás (*CO*, *CO<sub>2</sub>* ou *HC*) em diferentes comprimentos de onda de radiação infravermelha. Conforme o que está sendo medido (*CO*, *CO<sub>2</sub>* ou *HC*), diferentes filtros óticos são utilizados para estreitar o tamanho das ondas de alta frequência que entram em contato com o gás (espectro de absorção). A quantidade de radiação absorvida é avaliada indiretamente por sensores eletrônicos específicos em relação a um quarto filtro ótico de referência, e está relacionado à quantidade do gás. Quanto maior for a concentração do gás, maior será a absorção. Tudo é convertido em sinais de tensão os

quais representam a concentração de cada gás individualmente. Tais sinais são processados e convertidos em uma indicação de valores de CO, CO<sub>2</sub> e HC.

- Analisadores para motores de combustão interna ciclo Diesel: A característica dos motores ciclo Diesel é que sob carga, por exemplo na aceleração, se forma fumaça.

O termo fumaça define um aerosol de partículas de fuligem que se formam em complexas reações químicas em caso de combustão incompleta. Inicialmente formam-se hidrocarbonetos policíclicos que, por agregação, crescem até formarem partículas de fuligem. As partículas do gás de escape do ciclo Diesel, não são somente partículas de fuligem, mas também de hidrocarbonetos cristalizados e líquidos em teor intensamente variável, assim como de cinzas de aditivos do óleo, partículas de ferrugem, sais, limalhas metálicas, fibras, cerâmicas e gotas d'água.

A definição partículas abrange todos os sólidos do gás do sistema de exaustão. O fator de medição das emissões de fuligem de motores ciclo Diesel, relevantes para o meio ambiente, é a concentração de massa das partículas no gás de escape (sistema de exaustão). Para o rápido controle das emissões, foram desenvolvidos processos que avaliam as propriedades ópticas da fumaça de exaustão do processo de combustão do ciclo Diesel. A medição da turvação da fumaça do ciclo Diesel é um dos processos mais desenvolvidos até agora e também é adequado para análises de campo.

Na medição das emissões de fuligem, com base na turvação do gás de escape, são empregados os precisos opacímetros de fluxo de gases, bem como o amostrador por elemento filtrante.

Em análises técnicas utilizando-se opacímetros de fluxo de gases, tem-se a aplicação do mesmo de duas formas distintas, os analisadores de fluxo parcial e de fluxo total, que se distinguem pela forma de coleta da amostra.

No opacímetro de fluxo total, a medição da turvação é feita por um estreito feixe de luz vertical ao jato de gás de escape.

No opacímetro de fluxo parcial, a medição é realizada em um fluxo parcial do gás de escape. A cubeta (ou segmento de medição) é atravessada por luz visível cuja potência de radiação será enfraquecida por dispersão nas partículas e absorção no interior das mesmas. Essa variação da intensidade luminosa que alcança o receptor é utilizada para o cálculo do valor da opacidade, em um microcomputador.

O processo para análise do gás de escape de veículos com motores ciclo Diesel prevê a medição da emissão da fuligem com opacímetros de fluxo parcial pelo método da aceleração

livre. Nesse método, o motor é acelerado rapidamente em ponto morto até a rotação de corte, mantido por alguns segundos nessa rotação, conforme apresentado em procedimentos das Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente [CONAMA, 2008].

O princípio operativo do analisador de gases de combustão para o ciclo Diesel, realiza-se conforme apresentado abaixo pela Figura 3.9. A luz emitida por um diodo *led* verde de alta eficiência, é concentrada por um sistema ótico que produz um fecho luminoso de aproximadamente 6 mm de diâmetro. Este fecho passa através da câmara de medição e chega até o elemento sensível (fotodiodo). Dois espaços vazios de ambos os lados da câmara de medição são atravessados por correntes forçadas de ar limpo de ventilação (entrada de ar), que evitam que impurezas transportadas pelos gases se depositem nos elementos óticos (projektor ou fotodiodo), o que poderia perturbar a medição. Duas janelas transparentes fornecem uma proteção adicional aos elementos óticos. As amostras do gás de escape são tiradas do escape e dirigidas à câmara de medição (entrada de gases). O fecho de luz fornecido pelo fotodiodo, enfraquecido pela opacidade dos gases na câmara de medição, é finalmente recebido pelo elemento sensível à luz. A quantidade de luz recebida é inversamente proporcional à concentração de fumos na câmara.

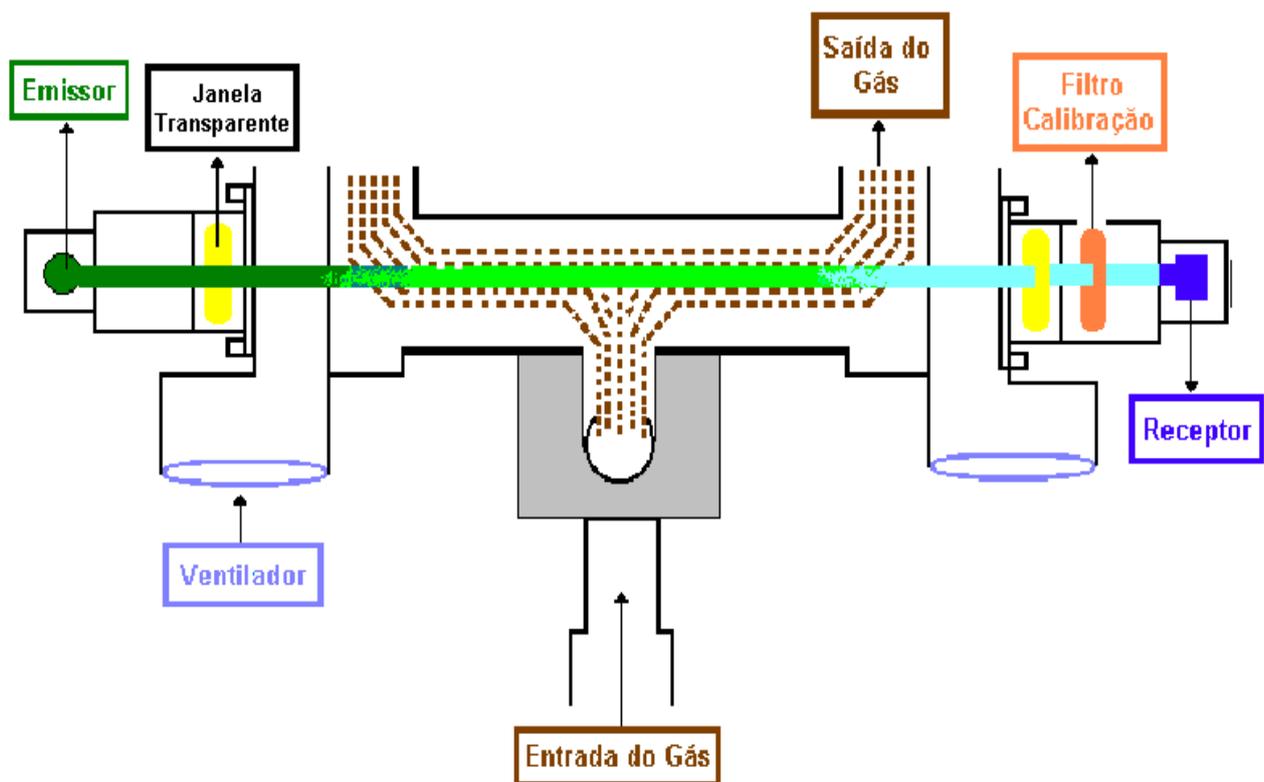


Figura 3.9 - Analisador de gases ciclo Diesel (Fluxo Parcial). Adaptado de Inmetro (2008).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O principal objetivo deste trabalho é o de avaliar o comportamento e desempenho operacional de motores de combustão interna monocilíndricos (M93 ID), de uso genérico, projetados e construídos pela empresa Agrale S.A. de Caxias do Sul, operando com óleo diesel (combustível padrão) e biodiesel (de várias origens).

O trabalho foi idealizado como uma parceria entre a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade de Caxias do Sul, Centro Tecnológico de Autotrônica e Centro Tecnológico de Mecatrônica do SENAI e empresa Agrale S.A. de Caxias do Sul.

O nome dado ao trabalho em questão é o de *Projeto Biodiesel*, que é gerenciado de forma bem estruturada, conforme demonstrado a seguir nos tópicos dos processos operacionais de obtenção de informações (dados relativos à potência, torque, consumo específico e emissões de gases) em laboratório dinamométrico.

A descrição básica do experimento e metodologia utilizada para a avaliação técnica e preparação mecânica dos motores de combustão interna M93 ID são:

1) Preparação do motor M93 ID (verificação de partes e componentes, fluidos e sistema de alimentação do motor);

2) Instalação do motor M93 ID em dinamômetro de eixo (enfatizar-se-á aqui que o tempo médio de preparo técnico de um motor de combustão interna monocilíndrico, para ensaios em dinamômetro de eixo na empresa Agrale S.A., varia em torno de quatro horas de trabalho técnico operacional, envolvendo atividades como preparo e adequação de sistema de alimentação de combustível, verificação de possíveis vazamentos (óleo e combustível), avaliação de sistemas de lubrificação, entre outros);

3) Obtenção de dados no dinamômetro e preenchimento manual de tabela da empresa Agrale S.A., para posterior utilização;

4) Repasse dos dados coletados em tabela para um programa especial ABT, que faz a correção dos dados, conforme normatização para o segmento de aplicação dos motores;

5) Repasse dos dados técnicos corrigidos, obtidos no Programa ABT, para o Programa *Microsoft Excel*, a fim de se obter um levantamento de todas as curvas (gráficos) relativas ao processo analisado;

6) Avaliação técnica, realizada pelo pessoal especializado envolvido no Projeto Biodiesel.

É importante ressaltar que durante todas as fases de investigação dos parâmetros potência,

torque, consumo específico e índice de fumaça, foram utilizados vários equipamentos que são apresentados neste capítulo. Estes equipamentos, em função de seus princípios de funcionamento e componentes externos utilizados, podem vir a gerar incertezas de medições, que são tratadas neste capítulo.

#### **4.1 AMBIENTE INDUSTRIAL**

O trabalho chamado de Projeto Biodiesel foi desenvolvido em parceria, principalmente, com a Empresa Agrale S.A., em função da utilização dos motores de combustão interna da empresa, dos projetos dos motores de combustão, do dinamômetro de eixo, ferramentas especiais, normas técnicas e programas especiais de correção.

A empresa Agrale S.A. possui laboratórios diversos, dentre eles o dinamométrico, utilizado durante a realização deste trabalho para a avaliação e desenvolvimento das metodologias citadas neste capítulo, na aquisição de curvas de comportamento dos motores de combustão interna, utilizando-se de equipamentos especiais, ferramentas e processos normatizados conforme ABNT.

#### **4.2 CONDIÇÕES GERAIS DE DESENVOLVIMENTO**

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado na Operação de Projeto de Motores *OPMO*, que está vinculado ao Departamento de Engenharia do Produto *DENP* da empresa Agrale S.A. O *DENP* é dividido por operações (motores de combustão interna, tratores e veículos especiais) sendo responsável por projetos, documentação técnica e testes dos novos produtos da Agrale S.A. O *DENP* também é o responsável pelo apoio técnico a outras áreas como vendas, assistência técnica e produção. A *OPMO* é responsável pelos projetos de motores de combustão interna e suas aplicações, como grupos geradores e moto bombas e tem por atribuição trazer soluções técnicas de engenharia aos projetos, problemas encontrados na linha de montagem e em testes de campo. Os ensaios foram realizados junto ao banco de dinamometria com o auxílio de dois técnicos em bancadas dinamométricas, um estudante de engenharia e dois técnicos em sistemas automotivos, os quais auxiliaram na coleta de dados, na avaliação das condições de operação dos equipamentos e mecânica operacional dos motores de combustão interna avaliados no trabalho.

#### **4.2.1 PROCESSOS DESENVOLVIDOS PARA O PROJETO BIODIESEL**

Para a execução das atividades e ensaios dos motores de combustão interna em bancadas dinamométricas da empresa Agrale S.A., algumas informações adquiridas em estudos de Gerenciamento de Projetos foram utilizadas como base. A ação de coleta de informações em dinamômetro, para a posterior construção dos gráficos de desempenho dos motores de combustão interna da empresa Agrale (M93 ID), não é de forma alguma uma atividade simples e desorganizada. Para que os resultados dos ensaios tenham aplicação com sucesso, é necessário que se tenha total controle sobre os processos envolvidos, uma sistemática de ações e engenharia de avaliação e aplicação muito dinâmica. A forma mais simples para se desenvolver estas atividades relacionadas reside na utilização da arte do gerenciamento de projetos, na definição das metas, tempos das ações envolvidas em cada processo, na escolha de pessoal especializado ou operacional, na avaliação de possíveis problemas como também na redução de riscos operacionais.

### 4.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Durante a realização dos ensaios nos motores de combustão interna monocilíndricos, M93 ID, da Agrale S.A., vários foram os equipamentos utilizados ao longo do processo de aquisição de dados. Podem-se citar alguns deles nesta secção, que demonstra de forma simplificada a aparência, a aplicabilidade no projeto, bem como a forma pela qual o equipamento desenvolve seu papel técnico, seguindo normas e padrões especificados pela empresa. Também neste capítulo, conforme apresentam as Figuras 4.1 e 4.2, comprova-se a estrutura física do laboratório de dinamometria do departamento de engenharia de produto da Agrale S.A..



Figura 4.1 – Laboratório de ensaios do DENP (1). Adaptado de Agrale (2008).

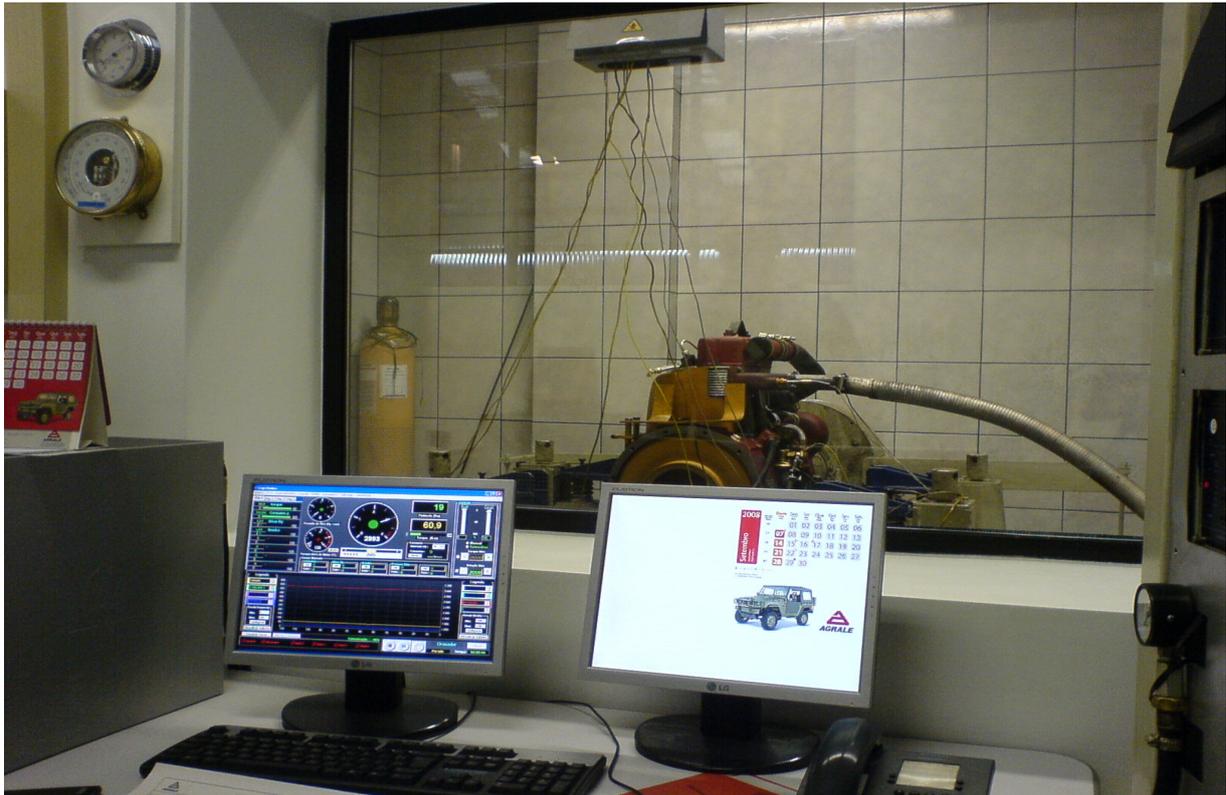


Figura 4.2 – Laboratório de ensaios do *DENP* (2). Adaptado de Agrale (2008).

#### 4.3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO

O abastecimento com combustível óleo diesel e/ou biodiesel dos motores no laboratório de dinamometria é realizado por meio de um sistema especial de abastecimento de combustível para banco de provas. Este sistema é apresentado na Figura 4.3, e se compõe basicamente de um reservatório de metal (20 litros), mangueiras de borracha especial, filtros e respiros, acoplados na entrada do sistema medidor de consumo específico, que é apresentado em detalhes neste capítulo. Cabe ressaltar que apenas o combustível óleo diesel é armazenado no reservatório apresentado na Figura 4.3. Para a alimentação do motor com biodiesel e suas misturas, é utilizado um recipiente especial de vidro (5 litros), para não contaminar o sistema que opera com óleo diesel, e facilitar a realização dos ensaios com diversas misturas de óleo diesel e biodiesel.



Figura 4.3 – Sistema de abastecimento combustível. Adaptado de Agrale (2008).

### 4.3.2 BANCO DE ENSAIOS

Durante a realização das atividades e ensaios, para o caso de teste exclusivo de motores de combustão interna sem sistemas de transmissão acoplados, um dos equipamentos mais utilizados é o dinamômetro de eixo. Para que se tenha sucesso na utilização deste equipamento é necessário que se tenha uma série de cuidados com relação a sua aplicação técnica, conforme especificações do fabricante. O dinamômetro utilizado nos ensaios de desempenho é da marca *Schenck*, modelo W130 – 130 kW, tipo corrente de *Foucault*, e incerteza de medição da rotação de  $\pm 10 \text{ min}^{-1}$ , com instrumentos e sistema de aquisição eletrônica e analógica de dados. O dinamômetro opera através de um braço de alavanca, de comprimento 0,310 m, e é composto por uma célula de carga modelo *KCC*, fabricada pela *KRATOS*, com capacidade de 490 N de força e incerteza de medição aproximada  $< 0,2\%$ . As Figuras 4.5 a 4.8 apresentam o dinamômetro e sistemas de comando especial.

O dinamômetro de corrente de *Foucault* é um freio de absorção que transforma a energia mecânica do motor em calor, através de energia elétrica. O calor é dissipado através da água de refrigeração, sendo que esta não participa do processo de frenagem. O freio dinamométrico de corrente de *Foucault* consiste de quatro partes, conforme apresentado na Figura 4.4: 1 - Carcaça do freio; 2 - Aparelho de medição; 3 - Base da máquina; 4 - Aparelho de comando.

Com relação ao funcionamento do sistema dinamométrico, alguns aspectos importantes referentes a sua estrutura dimensional, funcionamento e aplicação podem ser enfatizados, como apresentado nesta secção. A carcaça do freio apóia-se pendularmente sobre a base da máquina. Nesta mesma base encontram-se as tubulações de alimentação. O aparelho de comando possui os dispositivos necessários para o comando e regulação do sistema dinamométrico. O modo de funcionamento do dinamômetro consiste no apoio do rotor sobre a carcaça do próprio dinamômetro (1), que é composta de dois semi-eixos e um disco polar. Os discos polares são em forma de estrela e são girados entre câmaras de refrigeração fixas, dentro do campo magnético gerado pela corrente contínua que circula em uma bobina. Na camada superficial das câmaras de refrigeração aparecem correntes parasitas geradas pela rotação do rotor, cujos campos magnéticos se opõem ao movimento, uma vez que a carcaça do dinamômetro encontra-se apoiada em um dispositivo de medição de força (2) através de um braço de alavanca.

O momento de frenagem é refletido como uma força, referida a um braço de alavanca definido. Para obtenção da potência deve-se medir também a rotação. Um disco dentado na ponta do eixo do dinamômetro produz, em um transdutor de rotação, impulsos de tensão, que são transformados em uma tensão proporcional à rotação. Esta tensão é utilizada no tacômetro e na regulação da rotação.

O freio dinamométrico de corrente de *Foucault* é ativo em ambos os sentidos de rotação, sendo que a ponta de eixo direita possui flange de acoplamento para eixos de transmissão.

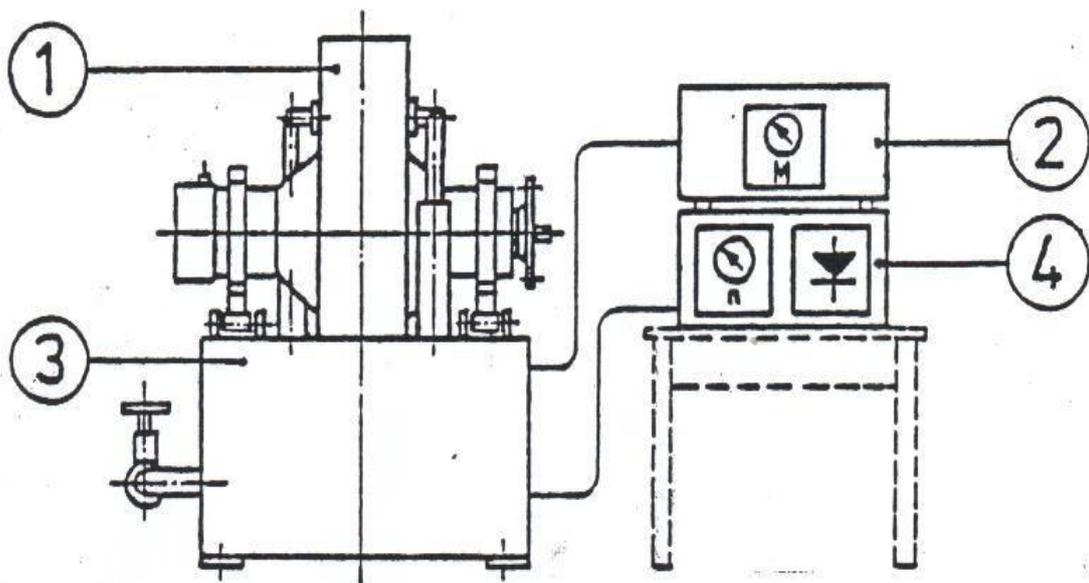


Figura 4.4 – Esquema do dinamômetro – Schenck. Adaptado de Agrale (2008).



Figura 4.5 – Dinamômetro Schenck e motor acoplado. Adaptado de Agrale (2008).



Figura 4.6 – Painel de comandos do dinamômetro Schenck (1). Adaptado de Agrale (2008).

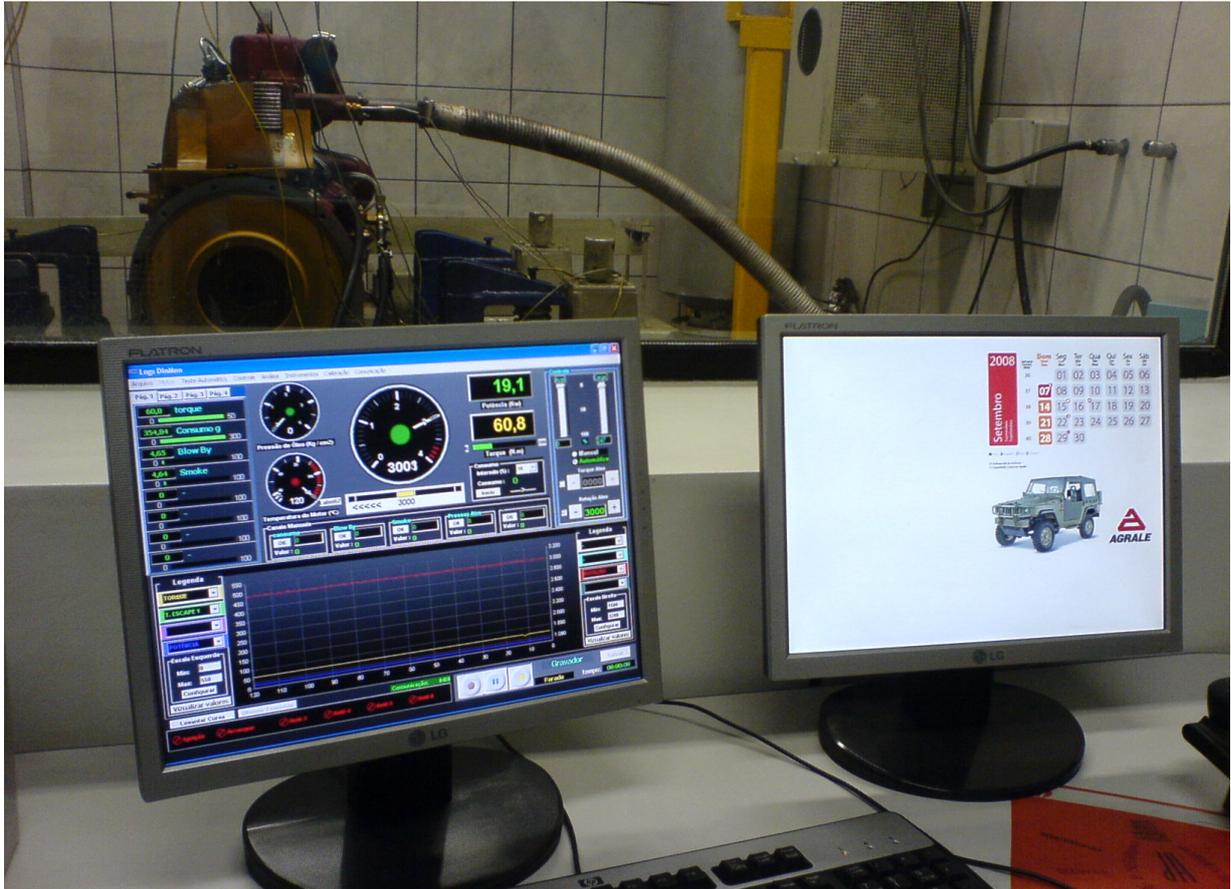


Figura 4.7 – Painel de comandos do dinamômetro Schenck (2). Adaptado de Agrale (2008).

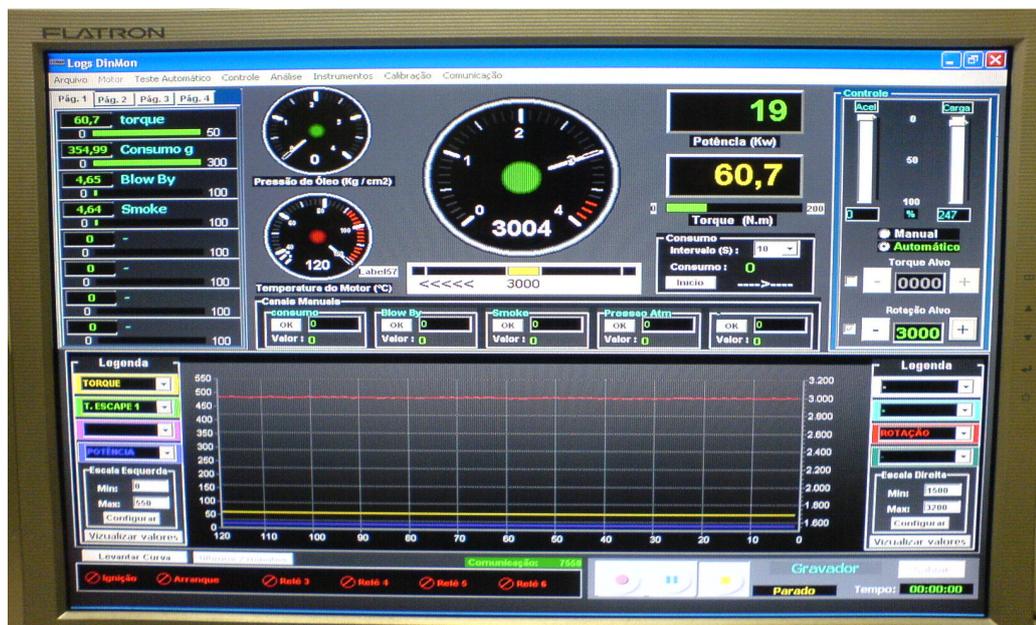


Figura 4.8 – Painel de comandos do dinamômetro Schenck (3). Adaptado de Agrale (2008).

### 4.3.3 MEDIDOR DE CONSUMO ESPECÍFICO

A obtenção dos valores de consumo específico durante os ensaios dinamométricos de desempenho dos motores, é realizada normalmente de duas maneiras distintas. A primeira opção é com utilização de um equipamento especial da marca austríaca AVL, com uma faixa de medição de 0,0 a 50,0 kg/h, conforme apresentado na Figura 6.9. O equipamento da AVL mede diretamente a vazão mássica. A segunda opção utiliza um balão volumétrico especial, conforme apresentado na Figura 6.10, que mede o volume consumido em um dado período de tempo. Todas as medidas são realizadas antes da bomba injetora. É importante destacar que, devido ao fato do biodiesel (e misturas) normalmente possuir alta viscosidade em relação ao óleo diesel, a segunda opção, ou seja, o sistema do balão volumétrico, foi utilizada para os ensaios, a fim de evitar entupimentos no sistema da AVL.



Figura 4.9 – Equipamento AVL – medidor de consumo específico. Adaptado de Agrale (2008).



Figura 4.10 – Equipamento medidor de consumo específico. Adaptado de Agrale (2008).

#### 4.3.4 MEDIDOR DO ÍNDICE DE FUMAÇA

O valor do índice de fumaça foi obtido por um equipamento especial da marca AVL, modelo AVL Smoke Meter (409D2), com uma faixa de medição de 0,0 a 9,0 UB (Unidade Bosch; SZ - BOSCH) e aproximadamente 2% de incerteza de medição, para as faixas de 0,6 a 5,0 SZ-BOSCH (sem variação do valor de temperatura de operação, que varia de 0°C a 50°C). É importante observar que todas as avaliações para este processo são realizadas na tubulação de exaustão de gases, logo após o coletor de gases de escape. A seguir, as Figuras 4.11 e 4.12, apresentam, respectivamente, o equipamento da AVL, para avaliação do índice de fumaça e o papel especial (filtro) utilizado neste mesmo equipamento para a avaliação do processo de exaustão no motor ensaiado. Para avaliações específicas dos índices de fumaça emitidos por motores ciclo Diesel, existem normas NBRs que estão definidas em resoluções especiais como na importante CONAMA nº 08 de 31.08.1993, que trata destes tópicos, tanto para veículos, como para aplicações especiais (agrícolas, industriais, militares, etc.). Nesta resolução existe a descrição de outras normas específicas para avaliações técnicas relativas a emissões de gases de escape, como NBR 5484 (Motores alternativos de combustão interna de ignição por compressão - ciclo Diesel - e por centelha - ciclo Otto - de velocidade angular variável) e a NBR 7027 (Gás de escapamento emitido por motor Diesel, determinação do teor de fuligem – método de ensaio).



Figura 4.11 – Equipamento AVL (medidor do índice de fumaça). Adaptado de Agrale (2008).

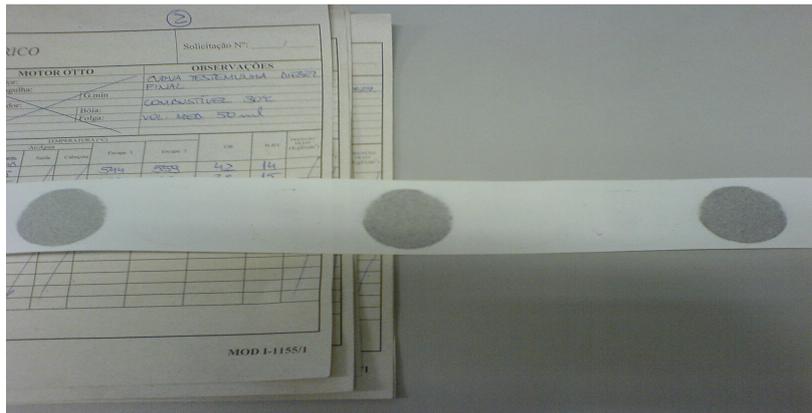


Figura 4.12 – Filtro especial (medidor do índice de fumaça). Adaptado de Agrale (2008).

#### 4.3.5 SENSOR DE TEMPERATURA (TIPO K)

Os valores das temperaturas, em diversos pontos do sistema, são capturados com o auxílio de sensores conhecidos por termopares do *Tipo K*. O termopar do *Tipo K* (*Cromel / Alumel*) é um termopar de uso genérico:

- Termoelemento positivo (KP): Ni 90%, Cr 10% (*Cromel*);
- Termoelemento negativo (KN): Ni 95%, Mn 2%, Si 1%, Al 2% (*Alumel*);
- Faixa de utilização de  $-270^{\circ}\text{C}$  a aproximadamente  $1300^{\circ}\text{C}$ ;
- f.e.m. produzida de  $-6,458\text{ mV}$  a  $48,838\text{ mV}$ ;
- Incerteza de Medição de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .

Algumas das aquisições realizadas com estes sensores são: temperatura de entrada do combustível no sistema de alimentação, temperatura do óleo de lubrificação do motor no cárter, temperatura ambiente e de gases de escape no motor de combustão interna M93 ID. A Figura 4.13 apresenta visualmente o sensor termopar do *Tipo K*.

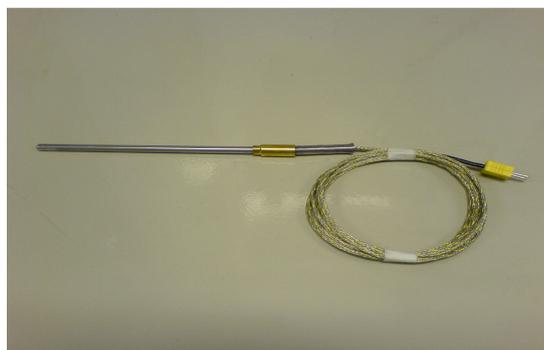


Figura 4.13 – Sensor termopar do *Tipo K*. Adaptado de Agrale (2008).

#### 4.4 COMBUSTÍVEIS DO PROJETO BIODIESEL

Os combustíveis utilizados durante o programa do projeto biodiesel foram adquiridos pela empresa Agrale S.A. de diversos fornecedores, dentro do que preconizam as especificações da ANP, tanto para o óleo diesel como para o biodiesel.

A resolução da ANP que especifica o combustível biodiesel, utilizado no projeto, é a Resolução ANP nº 42, de 24.11.2004 e a resolução que especifica o óleo diesel é a Resolução ANP nº 310, de 27.12.2001.

Um exemplo do *Certificado de Qualidade*, emitido por empresas que distribuem biodiesel no país, bem como o *Certificado de Ensaio* para o biodiesel, se encontram para apreciação nos anexos deste trabalho, respectivamente nas Figuras A1 a A4.

O combustível óleo diesel utilizado nos ensaios, tanto no inicial quanto no final, e também para as diversas misturas com o biodiesel, é o combustível classificado pela ANP como tipo *B*.

O óleo diesel aplicado ao projeto em questão é o combustível normalmente utilizado em linha de montagem da empresa Agrale S.A., armazenado em tanques apropriados e fornecido por empresas certificadas nacionalmente pela ANP.

As principais características do combustível óleo diesel estão apresentadas na Tabela A1 nos anexos, denominada Diferenças principais dos óleos diesel comercializados no Brasil. A tabela foi elaborada a partir de análises químicas realizadas pela empresa distribuidora de combustíveis Ipiranga do Brasil, exclusivamente para a empresa Agrale S.A.. Para efeitos de ensaios em banco de prova, somente as principais características ou as mais pertinentes para o projeto, processo e ensaios foram tratadas pela empresa Ipiranga do Brasil. Algumas propriedades apresentadas na tabela, como a massa específica, viscosidade e o número de cetano, são as mais importantes e devem ser levadas em consideração para análise dos resultados.

O combustível biodiesel utilizado no Projeto Biodiesel possui diversas origens quanto a sua composição química. Nos ensaios em banco de prova são utilizados combustíveis biodiesel de três oleaginosas diferentes: soja, mamona e dendê (palma). Em virtude da empresa Agrale S.A. comercializar seus motores de combustão interna em todas as regiões do país e até para o exterior, os ensaios com estes três tipos de oleaginosas são muito importantes para a empresa desenvolver novas tecnologias e ajustes em seus motores de combustão interna.

Conforme apresentado no capítulo referente a combustíveis deste trabalho, é de suma importância perceber-se que para cada diferente região do país existe uma espécie de oleaginosa que mais se destaca para a produção de biodiesel, explicando-se assim o fato dos ensaios serem

realizados com as três oleaginosas descritas acima, a fim de se buscar uma visão mais completa em relação a utilização do biodiesel em âmbito nacional.

As Tabelas A2 e A3, situadas nos anexos, apresentam algumas das principais características do combustível biodiesel em suas diversas origens. As características do biodiesel que possuem maior influência nos resultados são a viscosidade, que chega a ser 3 vezes maior do que a do óleo diesel, o poder calorífico que determina uma menor eficiência para o biodiesel, com aumento no consumo de combustível, a densidade que fica próxima aos valores do óleo diesel e o número de cetano, que para a mamona tende a ser até 15% menor do que para o óleo diesel.

A Tabela A2 possui parâmetros básicos para algumas características dos combustíveis de oleaginosas, como soja, mamona e dendê (palma), utilizados como fonte de consulta para alguns ensaios de referência realizados pela Agrale S.A..

A Tabela A.3 determina os valores das principais características do combustível biodiesel (soja, mamona e dendê), em ensaios físicos e químicos realizados ao final do ano de 2007 e início do ano de 2008, conforme regulamentação da Agência Nacional do Petróleo (Resolução ANP nº 42, de 24.11.2004).

#### **4.5 MOTOR AGRALE M93 ID DO PROJETO BIODIESEL**

O motor de combustão interna Agrale M93 ID, utilizado no projeto biodiesel, é um motor monocilíndrico de injeção direta, 668 cm<sup>3</sup> e taxa de compressão de 20,0:1, cuja potência máxima alcança os 14,7 cv a 2750 RPM. O motor possui especificações construtivas, conforme apresentado nas Figuras A5 e A6 (a – b – c) dos anexos deste trabalho.

Suas principais aplicações comerciais são para equipamentos agrícolas, construção civil, pequenos grupos geradores de energia elétrica, motobombas, veículos e tratores agrícolas de pequeno porte.

Conforme definido no início deste capítulo, existe hoje no mercado uma variada gama de equipamentos deste tipo, que são classificados de acordo com suas categorias de utilização comercial.

## 4.6 METODOLOGIA DE ENSAIO

Como a diretriz principal deste trabalho é a de avaliar a introdução do biodiesel como combustível alternativo para alimentação de motores de combustão interna monocilíndricos e para que estes possam, em um futuro próximo, servirem de base para o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas à utilização de formas alternativas de energia, verificam-se então os procedimentos operacionais utilizados para o desenvolvimento prático do Projeto Biodiesel, principalmente idealizados na empresa Agrale S.A., conforme padrões estabelecidos por algumas normas, dentre elas a ABNT NBR 6396, ABNT NBR 1585 e ABNT 3046/1. Em função de sua maior importância, é interessante entender um pouco mais a respeito do que tratam as normas ABNT NBR 1585 e ABNT NBR 6396.

A norma ABNT NBR 1585 especifica o método de ensaio de motores projetados para veículos automotores. Aplica-se à avaliação do seu desempenho, observando, em particular, a apresentação das curvas de potência e de consumo específico de combustível à plena carga em função da rotação do motor. Essa norma aplica-se somente para avaliação da potência líquida, que é obtida em uma bancada de ensaios, medida na saída da árvore de manivelas, na rotação correspondente do motor. Essa norma fixa alguns parâmetros para a medição de potência, torque, índice de fumaça, temperatura do ar de admissão, consumo específico de combustível, pressão e temperatura ambiente.

A norma ABNT NBR 6396, especifica o procedimento para ensaios de desempenho de motores alternativos de combustão interna. O campo de aplicação, quanto à construção dos motores de combustão interna, aplica-se aos ciclos de 2 ou 4 tempos, carburados ou com injetor, ignição por centelha ou compressão, combustível gás, gasolina, óleo diesel, álcool ou multi-combustível e similares, com alimentação natural ou superalimentação. Quanto ao uso, aplica-se a motores de propulsão de máquinas estacionárias ou transportáveis, como geradores elétricos, bombas d'água, compressores, máquinas agrícolas e também motores de propulsão de veículos ferroviários, fluviais ou marítimos. Esta norma apresenta as definições de potência, que deve ser expressa em cavalos vapor (cv) ou em quilowatt (kW), de consumo registrado em gramas por cavalo vapor hora (g/cv.h) ou gramas por quilowatt hora (g/kW.h). Fixa parâmetros para medição de vazão de fluídos de arrefecimento, rotações do motor, rotações de regulagem do motor, grau de irregularidade, momento de força, pressão, temperatura e rendimento mecânico. Os dados de temperatura e pressão do óleo lubrificante, temperatura do ar na admissão e temperatura dos gases de escape, por exemplo, foram monitorados durante os testes e se mantiveram dentro de

limites considerados normais para os motores ensaiados.

A norma ABNT NBR 3046/1 especifica ensaios para motores de combustão interna alternativos e avaliação de desempenho dos motores de combustão em determinadas condições e padrões de referência, declarações de potência e de consumo específico de combustíveis e óleo lubrificante.

A metodologia dos ensaios e os procedimentos, detalhadamente descritos, dos processos de preparação mecânica, elétrica, desenvolvimento e obtenção de resultados do Projeto Biodiesel são:

**1º) - Tempo aproximado da atividade: 1 hora.**

- Procedimento Técnico Operacional:

A) Preparação de motor, M93 ID (projeto e construção da empresa de Caxias do Sul), para os ensaios em dinamômetro de eixo, no laboratório dinamométrico do setor de engenharia e desenvolvimento.

**2º) - Tempo aproximado da atividade: 24 horas.**

- Procedimento Técnico Operacional:

A) Instalação do Motor M93 ID em bancada dinamométrica (Schenck, modelo W130 – 130 kW, do tipo corrente de *Foucault* com instrumentos e sistema de aquisição eletrônica e analógica de dados);

B) Verificam-se nesta etapa todos os possíveis sistemas mecânicos e elétricos do motor, equipamentos de análises e dinamômetro de eixo. Avaliam-se também partes como o sistema de alimentação, lubrificação, suportes do motor, acoplamentos, entre outros;

C) Durante a montagem do sistema motor-dinamômetro é realizada a instalação de diversos sensores, a fim de coletar todas as informações técnicas possíveis e necessárias em vários pontos do motor ensaiado, dados do tipo: temperaturas (termopares do *Tipo K*), pressões de operação e índice Bosch (ou índice de fumaça). Como importante observação, pode-se dizer que o índice Bosch é um método patentado (Unidade Bosch – UB (SZ – BOSCH)) que a empresa multinacional Bosch desenvolveu para avaliar o quanto um motor de combustão interna ciclo Diesel pode poluir o meio ambiente. Pode-se dizer que SZ – BOSCH é conhecido tecnicamente como *Smoke Value Bosch* ou *Blackening Number Bosch*, que é uma medida (não linear) do conteúdo de fuligem nos gases de escape dos motores ciclo Diesel. Tal processo é realizado coletando-se os gases de escape do motor de combustão em operação de ensaio, e obrigando os mesmos a passar por um tipo de papel especial (filtro de particulados) e aplicado ao

equipamento da marca AVL modelo Smoke Meter 409D2, em forma de rolos. Estes rolos de papel são tecnologia desenvolvida pela empresa Bosch, que funciona como um filtro que se contamina pela passagem dos gases de escape do motor em teste. Após a contaminação do papel (filtro), este é avaliado por sensores do equipamento de análise de índice de fumaça ou enegrecimento, que no caso da empresa é o equipamento da marca AVL, determinando assim os níveis de contaminação do processo de combustão. Deve-se levar em conta também, conforme descrito no item equipamentos deste capítulo, que existem normas regulamentadoras para padronizar ensaios de determinação dos índices de fumaça. Algumas destas NBRs encontram-se definidas no texto relativo ao equipamento da AVL, para ensaios deste tipo. Uma das normas que possui uma importância relativamente grande no que tange a ensaios de emissões para motores ciclo Diesel, bem como determinação de uma série de fatores relacionados a ruídos e emissões para estes tipos de motores é a CONAMA nº 08 de 31.08.1993;

D) Após o término de todas as etapas de instalação do motor no dinamômetro, bem como dos sensores de aquisição de dados, faz-se um amaciamento no motor de combustão em dinamômetro. Este procedimento, realizado pela empresa, basicamente utiliza-se de um motor de combustão interna em funcionamento pleno e sem falhas aparentes, e da aplicação de até 80% da rpm máxima (em relação à máxima definida em projeto para o motor em questão) e 80% da carga máxima (conforme a máxima calculada em projeto para o mesmo tipo de motor). Todo o processo de amaciamento, onde o motor opera nas condições descritas acima, tem por volta de 20 horas de duração. Convém ressaltar que tal prática pode fazer com que o motor produza de 5 a 10% a mais em potência de trabalho medida em dinamômetro.

**3º) - Tempo aproximado da atividade: 10 horas.**

- Procedimento Técnico Operacional:

A) Durante esta etapa de operação, obtêm-se todas as informações possíveis, relativas ao desempenho do motor de combustão interna (potência, torque, consumo específico e emissões de gases do escape), através de resultados numéricos apresentados pelo programa do dinamômetro e dos outros equipamentos envolvidos no processo de avaliação. No caso do dinamômetro, os resultados são demonstrados em monitores de vídeo especiais, onde um computador adaptado ao dinamômetro faz as primeiras avaliações instantâneas, sem nenhuma correção, conforme normas ABNT NBR. Convém enfatizar que o tempo exigido para o preparo de cada uma das etapas de ensaio, relativo a cada um dos tipos de combustíveis ou misturas utilizadas em banco de prova, bem como as adequações intermediárias do sistema (reservatórios, alimentação e motor), para a

troca de combustível ou mistura é de aproximadamente 60 minutos;

B) Todas estas avaliações são efetuadas com o motor operando com óleo diesel e biodiesel, anotando-se em uma tabela especial (registro manual, realizado pelos técnicos do laboratório de dinamometria) da empresa, cujo modelo é apresentado nos anexos pela Tabela A4. Os registros são preenchidos conforme exemplo apresentado pelas Tabelas A5 e A6. Nestas tabelas encontram-se todos os dados retirados durante o processo de ensaio do motor, nas referidas rotações, com controles definidos, marcações de temperaturas de operação, valores de torque (sem correções), valores de pressões, enfim, toda a série de informações é manuscrita pelos técnicos do laboratório dinamométrico. Estes dados serão, em uma etapa posterior, utilizados como informação técnica para o programa ABT, que gera as devidas correções, conforme descrito na 4ª etapa;

Para o desenvolvimento desta 3ª etapa, utilizam-se rotações específicas para os ensaios em banco de prova, conforme observado nas curvas de desempenho do motor M93 ID, apresentados no capítulo relativo aos resultados dos ensaios com óleo diesel e biodiesel. Nesta etapa de ensaios e anotações de dados em banco de prova, serão realizados, por duas vezes seguidas e da mesma maneira, todos os ensaios técnicos para cada combustível avaliado no Projeto Biodiesel. Após a obtenção e registro manual destes dados nos formulários, Tabela A4, alimenta-se o programa ABT, que gera dois relatórios, um para cada uma das condições iniciais inseridas, conforme exemplos da Tabela A7, apresentada nos anexos. É importante salientar que somente após a inserção dos dados no programa *Excel* é que é feita a média aritmética dos valores obtidos. Em relação aos combustíveis empregados no ensaio em banco de provas, foram utilizados padrões de misturas para o óleo diesel e para o biodiesel (de várias origens). As definições teóricas específicas para potência, torque e consumo específico, são apresentadas detalhadamente nas normas ABNT NBR 1585, ABNT NBR 3046/1 e ABNT NBR 6396.

C) Nesta etapa é realizada, ainda, através de equipamento especial, a verificação do consumo específico de combustível em função de sua rotação específica e tempo. Como exemplo, para simples entendimento, avalia-se um motor M90 ID, da empresa Agrale S.A., a 1800 RPMs e plena carga do motor no dinamômetro, onde retira-se 6,5 kW de potência observada, com carga de 35 N no dinamômetro. Calcula-se, ao fim deste processo, o tempo que o motor de combustão interna, nestas condições, leva para consumir 50 ml de combustível. Convém observar que o valor da  $T_{comb}$ . (temperatura de operação do combustível) [°C], bem como o V.M. (volume de combustível medido) [ml], utilizados para as medidas de consumo específico, são mantidas constantes durante todos os ensaios realizados no banco dinamométrico.

Neste instante é realizado um ensaio para a determinação da densidade específica de cada amostra do combustível ou mistura utilizada nos ensaios do banco dinamométrico, onde o combustível é colocado à temperatura de operação ( $T_{comb.}$ ) no banco dinamométrico, sendo feita então a análise com um densímetro especial e anotando-se nas tabelas de obtenção de dados, para que finalmente sejam transferidas para o programa ABT. Para o caso do motor M93 ID, as formas pela qual foram efetuadas as medições de consumo específico não são diferentes da forma apresentada no exemplo acima. Cabe aqui destacar que em virtude da alta viscosidade apresentada pelo biodiesel e, por consequência, de suas misturas, as medições foram realizadas em equipamentos especiais (balão volumétrico). A metodologia de realização das medições é simples, sendo realizadas em função do volume (ml) e tempo (s). Durante os ensaios, o motor é colocado em rotação especificada de 2600, 2400, 2200, 2000 e 1800 RPM, com base em normas de referência para este procedimento em bancada dinamométrica;

D) É importante observar que os ensaios, neste momento, são realizados com valores travados de TBS (temperatura de bulbo seco) [°C], TBU (temperatura de bulbo úmido) [°C], PBar (pressão atmosférica ou barométrica local) [mbar] e Tasp (temperatura de admissão ou aspiração do motor) [°C];

E) Os dados são coletados em vários conjuntos com rotações específicas e determinadas para cada um dos ensaios que se deseje realizar. Neste momento também são realizadas as avaliações dinamométricas e de gases de exaustão, com cada uma das misturas de óleo diesel e biodiesel.

**4º) - Tempo aproximado da atividade: 2 horas.**

- Procedimento Técnico Operacional:

A) Repasse de dados coletados para o programa especial ABT, que é um programa desenvolvido pela empresa para correção de dados de origem, em função de adequação às normas técnicas do segmento de aplicação (ABNT NBR 1585 ou ABNT NBR 6396 ou ABNT NBR 3046/1).

O programa ABT foi desenvolvido para a obtenção e tratamento de dados específicos relativos à aplicação dos motores de combustão interna. Conforme descrito na etapa anterior, são produzidos dois registros gerais para cada tipo de combustível, sendo estes inseridos no programa ABT, que gera um relatório com dados corrigidos para cada um dos relatórios manualmente preenchidos durante a avaliação do desempenho do motor em banco de prova.

Estes relatórios são apresentados, como exemplos, pela Tabela A7, retornando uma série de

parâmetros, como torque, potência, temperaturas de trabalho, entre outros.

Em uma próxima etapa, os dados serão aplicados ao programa *Microsoft Excel*, que fará a média e os gráficos relativos a cada um dos processos.

Como no mercado existe uma variada gama de equipamentos especiais (motores para diversas aplicações), estes podem ser classificados em três categorias diferentes, conforme suas curvas de desempenho, para que se obtenha o máximo em economia, eficiência e durabilidade do conjunto.

Dentro do que estabelecem as normas técnicas do setor de ensaios e eficiência, pode-se verificar três diferentes tipos de curvas de desempenho:

- **Curva A** (ABNT NBR 6396, de 1976): aplicada para carga e rotação constante, podendo ser empregada em moto bombas, compactadores de solo, compressores de ar e propulsão de barcos, por exemplo;

- **Curva B** (ABNT NBR 6396, de 1976): aplicada para carga variável e rotação constante, podendo ser utilizada em grupos geradores, trituradores e moedores de cana, por exemplo;

- **Curva F** ou **Curva N** (ABNT NBR ISO 1585, de 1986): aplicada para carga e rotação variável, podendo ser utilizada em tratores, carretas agrícolas e veículos automotivos em geral.

B) O programa de correção ABT, deve ser alimentado com o maior número de informações possíveis, conforme apresentado nas Tabelas A4, A5, A6 e A7.

**5º)** - Tempo aproximado da atividade: **1 hora.**

- Procedimento Técnico Operacional:

A) Repasse dos valores corrigidos pelo programa ABT, conforme normas específicas em função da aplicação do motor, para o programa *Microsoft Excel*, a fim de se obter as médias dos processos e as curvas corrigidas para a avaliação posterior do desempenho do motor de combustão interna. A forma com a qual o programa ABT emite relatórios com determinados valores, para que estes sejam inseridos em uma planilha do programa *Microsoft Excel*, está fielmente apresentada, como exemplo, na Tabela A7 nos anexos do trabalho.

**6º)** - Análise técnica dos resultados obtidos em programa *Microsoft Excel*, relativo ao desempenho do motor de combustão interna ciclo Diesel, operando com combustível óleo diesel em relação ao biodiesel de diversas origens e concentrações. Estas análises são detalhadamente apresentadas no próximo capítulo deste trabalho, que trata dos resultados do projeto biodiesel.

#### 4.7 FATORES DE CORREÇÃO (ABNT NBR 1585)

*Definição do fator  $\alpha$  para correção da potência:* Este é o fator pelo qual a potência observada deve ser multiplicada para determinar a potência do motor nas condições atmosféricas de referência. A potência corrigida (isto é, potência nas condições-padrão de referência),  $P_{ref}$  é dada pela Equação 4.1:

$$P_{ref} = \alpha \cdot P_y \quad (4.1)$$

Onde,

$\alpha$  - Fator de correção;

$\alpha_a$  - Fator de correção para motores de ignição por centelha;

$\alpha_c$  - Fator de correção para motores de ignição por compressão;

$P_y$  - Potência medida (observada) [W].

*Condições atmosféricas:*

*Condições atmosféricas de referência:* As condições atmosféricas de referência devem estar de acordo com as citadas abaixo:

--- *Temperatura:* A temperatura de referência,  $T_{ref}$ , é 298 K (25 °C);

--- *Pressão do ar seco* (pressão seca): A pressão seca de referência  $P_{d,ref}$ , é 99 kPa.

*Obs:* A pressão seca é baseada em uma pressão total de 100 kPa e uma de vapor de 1 kPa.

*Condições atmosféricas do ensaio:* As condições atmosféricas durante o ensaio devem estar dentro dos valores definidos abaixo:

--- *Temperatura (T):* ---Para motores de ignição por centelha:  $288 \text{ K} \leq T \leq 308 \text{ K}$ ;

--- Para motores de ignição por compressão:  $288 \text{ K} \leq T \leq 313 \text{ K}$ .

--- *Pressão Seca ( $p_d$ ):* Para todos os motores:  $80 \text{ kPa} \leq p_d \leq 110 \text{ kPa}$ .

*Determinação dos fatores de correção da potência:* Os ensaios podem ser realizados em salas de ensaio com ar-condicionado, onde as condições atmosféricas são controladas para igualar as condições de referência. Se um parâmetro de influência for controlado por um

dispositivo automático, nenhuma correção da potência para este parâmetro deve ser aplicada, contanto que o parâmetro em questão esteja dentro da faixa significativa do dispositivo. Isso se aplica em particular aos seguintes fatores: (a) controle automático da temperatura do ar onde o dispositivo está sempre operando a 25°C; (b) controle automático da pressão de sobrealimentação, independente da pressão atmosférica, quando a pressão atmosférica é semelhante àquela que o controle da pressão de sobrealimentação está operando; (c) controle automático do combustível onde o regulador ajusta o fluxo do combustível para potência de saída constante (por compensação pela influência da pressão e da temperatura ambientes). Contudo, no caso do item (a), se o dispositivo automático de controle da temperatura do ar estiver completamente fechado na plena carga a 25°C (sem acréscimo de ar aquecido ao ar de admissão), o ensaio deve ser realizado com o dispositivo completamente fechado, aplicado o fator normal de correção. No caso do item (c), o fluxo do combustível para motores de ignição por compressão deve ser corrigido pelo fator de correção da potência correspondente.

*Motores de ignição por centelha naturalmente aspirados e sobrealimentados (Fator  $\alpha_a$ ):* O fator de correção  $\alpha_a$ , para motores de ignição por centelha deve ser calculado pela equação a seguir:

$$\alpha_a = \left( \frac{99}{p_d} \right)^{1,2} \cdot \left( \frac{T}{298} \right)^{0,5} \quad (4.2)$$

Onde,

$T$  - Temperatura absoluta na entrada de ar do motor [K];

$p_d$  - Pressão atmosférica seca [kPa].

A pressão atmosférica seca é a pressão barométrica total menos a pressão do vapor de água. Esta equação se aplica a motores carburados e a outros motores onde o sistema de controle é projetado para manter uma relação ar-combustível aproximadamente constante nas mudanças das condições ambientais.

A Equação 4.2, é aplicada somente se:  $0,93 \leq \alpha_a \leq 1,07$ . Se estes limites forem excedidos, o valor obtido corrigido deve ser apresentado e as condições do ensaio (temperatura e pressão) precisamente declaradas no relatório do ensaio.

*Motores de ignição por compressão (Fator  $\alpha_c$ ):* O fator de correção da potência,  $\alpha_c$ , para motores de ignição por compressão para regulagem de vazão de combustível constante é obtido pela aplicação da Equação 4.3:

$$\alpha_c = (f_a)^{f_m} \quad (4.3)$$

Onde,

$f_a$  - Fator atmosférico;

$f_m$  - Fator do motor (Parâmetro característico para cada tipo de motor e ajuste).

*Fator atmosférico ( $f_a$ ):* O fator atmosférico,  $f_a$ , que indica o efeito das condições do meio ambiente (pressão, temperatura e umidade) sobre o ar aspirado pelo motor;

*Fator do motor ( $f_m$ ):* Dentro dos limites estabelecidos para  $\alpha_c$ , o fator do motor,  $f_m$ , é uma função do parâmetro da razão corrigida de combustível,  $q_c$ .

*Limitação no uso da equação de correção:* Aplica-se essa equação de correção somente se:  $0,9 \leq \alpha_c \leq 1,1$ . Se estes limites são excedidos, o valor obtido corrigido deve ser apresentado, e as condições de ensaio (temperatura e pressão) precisamente declaradas no relatório do ensaio.

## 4.8 ANÁLISE DE ERROS

Trabalhos experimentais contêm erros em seus resultados finais provenientes de fatores que influenciam a precisão da medição, tais como: a incerteza do instrumento de medição, a metodologia empregada e erros aleatórios. Para amenizar os efeitos destes erros, medidas são repetidas várias vezes e os dados são estatisticamente tratados. Aplicam-se métodos estatísticos em trabalhos científicos quando a variabilidade, a complexidade ou o parcial desconhecimento das origens do fenômeno compromete a confiabilidade dos resultados.

Estatisticamente é possível obter resultados que permitem alcançar uma série de comportamentos gerais frente a casos acidentais ou isolados, com os quais se compõem um modelo. Em termos gerais, o que se determina na prática é o erro aparente, ou seja, a diferença entre o valor objetivo na medida e o valor mais provável da grandeza física considerada, pois a determinação do erro de uma medida em relação ao verdadeiro valor da grandeza é impraticável.

Uma grandeza física experimental deve ser determinada a partir de medição, e o resultado é sempre uma aproximação para o valor verdadeiro da grandeza. [Zaro e Borchardt, 1982]. Conforme descrito pela Norma ABNT NBR ISO 1585, os sistemas de medição de torque e rotação devem ter exatidão de  $\pm 1\%$  e  $\pm 0,5\%$ , respectivamente.

A incerteza de medição está associada à exatidão do instrumento, especificada pelo fabricante, normalmente expressa em valores percentuais de fundo de escala. O método mais utilizado na bibliografia especializada, quando o resultado procurado depende de medição individual, é o Kleine e McClintock, dado pela equação [Zaro e Borchardt, 1982].

$$\Delta R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} \cdot \Delta_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} \cdot \Delta_2 \right)^2 + \dots \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

Onde,

$\Delta R$  - Incerteza do resultado ( $x_1, x_2 \dots x_n$  são as variáveis independentes);

$\Delta$  - Incerteza de cada variável independente.

Como torque, potência, consumo específico e índice de fumaça são obtidos diretamente nos equipamentos utilizados, para um entendimento mais amplo, apenas são explicadas as incertezas de medição destes equipamentos especiais, sendo que a incerteza do resultado consiste no conjunto de incertezas de outras variáveis independentes relacionadas com o resultado final.

A investigação de desempenho do motor M93 ID foi realizada pela medição, principalmente do torque, para as diversas misturas propostas. A medição do torque, bem como potência, consumo específico e índice de fumaça, possuem difundidos em seus processos, incertezas de medição, que variam em módulo percentual, conforme apresentado nesta seção.

Para uma análise mais apurada relativa às incertezas de medições dos equipamentos, avalia-se inicialmente o dinamômetro utilizado nas atividades de levantamento de dados (medidas de torque) do motor. O dinamômetro em questão é da marca *Schenck*, modelo W130 – 130 kW, tipo corrente de *Foucault*, e incerteza de medição da rotação de  $\pm 10 \text{ min}^{-1}$ , com instrumentos e sistema de aquisição de dados eletrônico e analógico. Este opera através de um braço de alavanca, de comprimento 0,310 m, e composto por uma célula de carga modelo *KCC*, fabricada pela *KRATOS*, com capacidade de 490 N de força e incerteza de medição  $< 0,2\%$ .

A Equação 3.2 é a que determina o cálculo do torque em dinamômetro; portanto, a incerteza de medição máxima do parâmetro torque líquido pode ser determinada pelas derivadas parciais desta mesma equação, em função das variáveis  $F$  e  $b$ , substituídas na Equação 4.4, resultando na Equação 4.5, ou de acordo com o Método Vetorial *ISO GUN - McClintok* (*Incertezas Combinadas*). A incerteza de medição relatada para o torque é declarada como incerteza padrão ou combinada no valor calculado de 0,54%, sendo que esta, se multiplicada por um fator de abrangência  $k$  ( $k=2$ ), para uma distribuição  $t$ , com graus de liberdade efetivos  $\{V_{eff}\}$ , correspondendo a uma confiabilidade de aproximadamente 95%, tem-se então a incerteza expandida no valor de 1,08%. A incerteza padrão ou combinada foi determinada segundo Publicação EA – 4 / 02 [INMETRO, ABNT, SBM, 1999].

$$iT_b = \left[ (b * iF)^2 + (F * ib)^2 \right] \frac{1}{2} \quad (4.5)$$

Onde,

$iT_b$  - Incerteza de medição do torque no freio [J];

$iF$  - Incerteza de medição da força do motor sobre a célula de carga [N];

$ib$  - Incerteza de medição do comprimento de alavanca do freio [m].

A calibração do sinal oriundo da célula de carga permitiu a determinação do parâmetro torque desenvolvido, com incerteza combinada de medição no valor de 0,54% ( $\pm 0,2\text{N.m}$ ), de acordo com o apresentado na Equação 4.5.

A incerteza calculada para o torque utilizou uma série de métodos estatísticos para a determinação das incertezas combinadas ou expandidas, porém, se desconsiderados estes métodos, para uma avaliação mais simples utilizando diretamente a Equação 4.5, tem-se como incerteza para o torque o valor aproximado de 0,39% ( $\pm 0,14\text{N.m}$ ).

Diretamente em função do parâmetro torque, e levando-se em consideração todas as incertezas de medição calculadas e combinadas, temos a potência líquida [kW], que representa a taxa de realização de trabalho por tempo, sendo o produto do torque líquido pela velocidade angular do motor, conforme apresentado na Equação 3.3, com uma incerteza percentual combinada de aproximadamente 1,07%, conforme Método Vetorial *ISO GUN - McClintok*.

Os valores obtidos para as temperaturas, em diversos pontos do sistema, durante os ensaios dinamométricos de desempenho do motor, são capturados com o auxílio de sensores conhecidos

por *Termopares* do *Tipo K*. O termopar do *Tipo K* (Cromel / Alumel) é um termopar de uso genérico, com incerteza de medição de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .

A obtenção dos dados para o consumo específico, durante os ensaios dinamométricos de desempenho do motor, é realizada utilizando-se um balão volumétrico de vidro, que possui incerteza de medição aproximada de 5%, e um cronômetro digital calibrado com uma incerteza de medição registrada de 0,5%. Para a determinação dos referidos valores de consumo, utiliza-se uma relação de volume em função do tempo. Todas as medidas são realizadas, durante os ensaios, em banco de provas, antes da bomba injetora.

O consumo específico de combustível (*bsfc*) representa a eficiência com que o motor está convertendo a energia do combustível utilizado em trabalho mecânico, conforme apresentado pela Equação 3.8.

Nas aquisições dos valores para o índice de fumaça, faz-se uso de um equipamento especial da marca AVL, modelo AVL Smoke Meter (409D2), com uma faixa de medição de 0,0 a 9,0 UB (Unidade Bosch; SZ - BOSCH) e aproximadamente 2% de incerteza de medição, para as faixas de 0,6 a 5,0 SZ-BOSCH (sem variação do valor de temperatura de operação, que varia de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ ). Todos estes ensaios, durante o processo, são realizados na tubulação de exaustão de gases, logo após o coletor de gases de escape no motor.

Cabe sempre ressaltar que este trabalho fundamenta-se em ensaios e análises comparativas de medições de torque, potência, consumo específico e índice de fumaça, sendo que todos estes ensaios técnicos, realizados em laboratório dinamométrico, possuem as mesmas ordens de grandezas para todas as imprecisões avaliadas durante o processo.

Durante o tratamento de dados dos resultados obtidos nos ensaios, utilizou-se um controle estatístico, onde cada ensaio foi reproduzido por duas vezes.

Os resultados finais foram obtidos através da média aritmética dos valores observados em cada ensaio, conforme apresentado nas tabelas dos anexos deste trabalho.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4.6)$$

Onde,

$n$  - Número de ensaios realizados;

$X_i$  - Valor observado;

$\mu$  - Média dos valores ensaiados.

## 5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Durante o desenvolvimento do trabalho, todos os fatores que pudessem de alguma maneira, modificar o comportamento da operação do motor analisado em relação aos combustíveis utilizados, bem como suas variações aplicadas, foram avaliados sempre de forma mais precisa possível.

As Tabelas A8 a A19, dos anexos, apresentam de forma bem específica e detalhada, todos os parâmetros utilizados durante os ensaios, bem como todos os dados que foram obtidos e aplicados ao referido projeto. As referidas tabelas representam o total dos parâmetros ensaiados e o conjunto de dados gerais obtidos nos ensaios.

Nas Tabelas A8 a A19 também se encontram alguns códigos que possuem a seguinte representação técnica: BIO93\_328 ou BIO93\_329 referem-se a ensaios usando-se o biodiesel (BIO) em um motor M93 ID (93) nos ensaios de nº 01 (328) e de nº 02 (329).

Outro ponto de grande importância aplica-se aos comparativos entre as misturas de biodiesel e o combustível óleo diesel (diesel inicial e final). Ensaios definidos como diesel inicial e diesel final são testes realizados com combustível padrão (aplicado a motores automotivos convencionais).

Ensaios com diesel inicial são realizados, conforme apresentado na metodologia de ensaios, antes de se aplicar qualquer outro tipo de combustível (biodiesel) ao sistema de alimentação do motor, para que assim sejam obtidos parâmetros e resultados de referência. Para o diesel de referência final, a situação de ensaio é a mesma, no entanto realizada ao final dos ensaios dinâmicos.

As figuras apresentadas neste capítulo destacam todos estes resultados descritos acima, de forma gráfica, definindo mais claramente o estilo das curvas geradas por este grande número de ensaios efetuados. Todos estes gráficos, parâmetros e resultados são analisados de forma detalhada neste mesmo capítulo.

Destaca-se que, durante a realização de toda a aquisição de dados nos ensaios, buscou-se sempre a maneira mais adequada e eficaz de obter os dados mais próximos da realidade, em relação às grandezas analisadas (potência, torque, consumo específico e níveis de fumaça), evitando-se ao máximo a interferência humana, e assim reduzindo as possibilidades de erros, bem como sua propagação nos processos e nos resultados.

## 5.1 RESULTADOS - BIODIESEL DE SOJA

### 5.1.1 RESULTADOS – TORQUE E POTÊNCIA

As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam os comportamentos e valores obtidos para o torque e potência respectivamente, para variações de biodiesel de soja **B25**, **B50**, **B75** e **B100**, aplicadas ao motor M93 ID em relação ao óleo diesel de referência. As figuras apresentam o complexo de curvas obtidas durante os respectivos ensaios, para que se possa ter uma visão geral de desempenho relativo a cada combustível aplicado ao motor. Para análises mais detalhadas, utiliza-se como referência de comparação e padrão de combustível óleo diesel os valores do óleo diesel inicial, para cada um dos respectivos ensaios realizados, para cada um dos parâmetros analisados (potência, torque, consumo específico e níveis de fumaça).

É importante destacar que, tanto para a apresentação como para a análise posterior dos resultados, a potência é diretamente proporcional ao torque; logo, para as mesmas rotações do motor, as variações percentuais no torque serão as mesmas evidenciadas na potência.

Os resultados verificados para as misturas de biocombustíveis, conforme citado na Figura 5.1 e 5.2, não apresentam variações significativas em relação aos valores obtidos para o óleo diesel utilizado como padrão, levando-se em consideração as incertezas de medidas apresentadas.

Conforme se apresenta na Figura 5.1 e 5.2, tanto para o torque como para a potência desenvolvida pelo motor, verifica-se que em uma mistura de 25% de biodiesel de soja, houve uma redução pouco significativa em aproximadamente 1,8% do torque e potência para a rotação de 1800 RPM, 3,4% para a rotação de 2200 RPM e 3,1% para a rotação de 2600 RPM, tudo em relação ao combustível padrão diesel inicial. Conforme observado a seguir, nos valores e curvas dos gráficos o biodiesel de soja - **B25** apresentou uma redução média de 2,7% em relação ao combustível óleo diesel inicial.

Para uma mistura de 50% de biodiesel de soja, houve uma redução registrada nestes parâmetros, também pouco significativa, de aproximadamente 2,2% na rotação de 1800 RPM, 4% para a rotação de 2200 RPM e 4,6% para a rotação de 2600 RPM, em relação ao combustível padrão diesel inicial. Para o biodiesel de soja - **B50** houve uma redução média de 3,5% em relação ao combustível óleo diesel inicial.

Avaliando-se para a mistura de 75% de biodiesel de soja, verifica-se que nesta mistura houve as reduções mais expressivas, registradas nos ensaios dinamométricos, de

aproximadamente 2,4% para 1800 RPM, 4,3% para 2200 RPM e 5,2% para a rotação de 2600 RPM. O biodiesel de soja - **B75** apresentou a maior redução média, no valor de 3,9% em relação ao combustível óleo diesel padrão.

Na condição específica de 100% de biodiesel de soja, observou-se, durante a realização dos ensaios dinamométricos, que houve reduções acentuadas nos parâmetros torque e potência, sendo que os valores registrados para esta condição são de aproximadamente 2,4% para a rotação de 1800 RPM, 1,9% para a rotação de 2200 RPM e 5,1% para a rotação de 2600 RPM do referido motor. Para o biodiesel de soja - **B100** houve uma redução média de 3,2% em relação ao combustível de referência utilizado nos ensaios.

É importante enfatizar que, para todos os ensaios realizados para o biodiesel de soja, o torque e a potência, apresentados nas curvas nas Figuras 5.1 e 5.2, não apresentaram variações consideráveis em relação ao combustível padrão diesel inicial, tendo-se registrado 5,2% para **B75**, como o maior percentual de redução dos parâmetros analisados. A utilização do biodiesel de soja, relativo ao torque e à potência, trouxe pequenas alterações funcionais aplicadas ao motor ensaiado.

Tanto para o torque, como apresentado para a potência do motor ensaiado, não haverá alterações perceptíveis de funcionamento do motor em relação a estes parâmetros específicos, portanto imperceptível variação será apresentada quando o motor for utilizado em aplicações convencionais ou agrícolas.

É importante destacar que esta análise é parcial, pois enfoca parte dos parâmetros envolvidos na análise completa. Existem outros fatores que são abordados neste capítulo que podem vir a apresentar maiores variações, modificando o desempenho funcional do motor em campo.

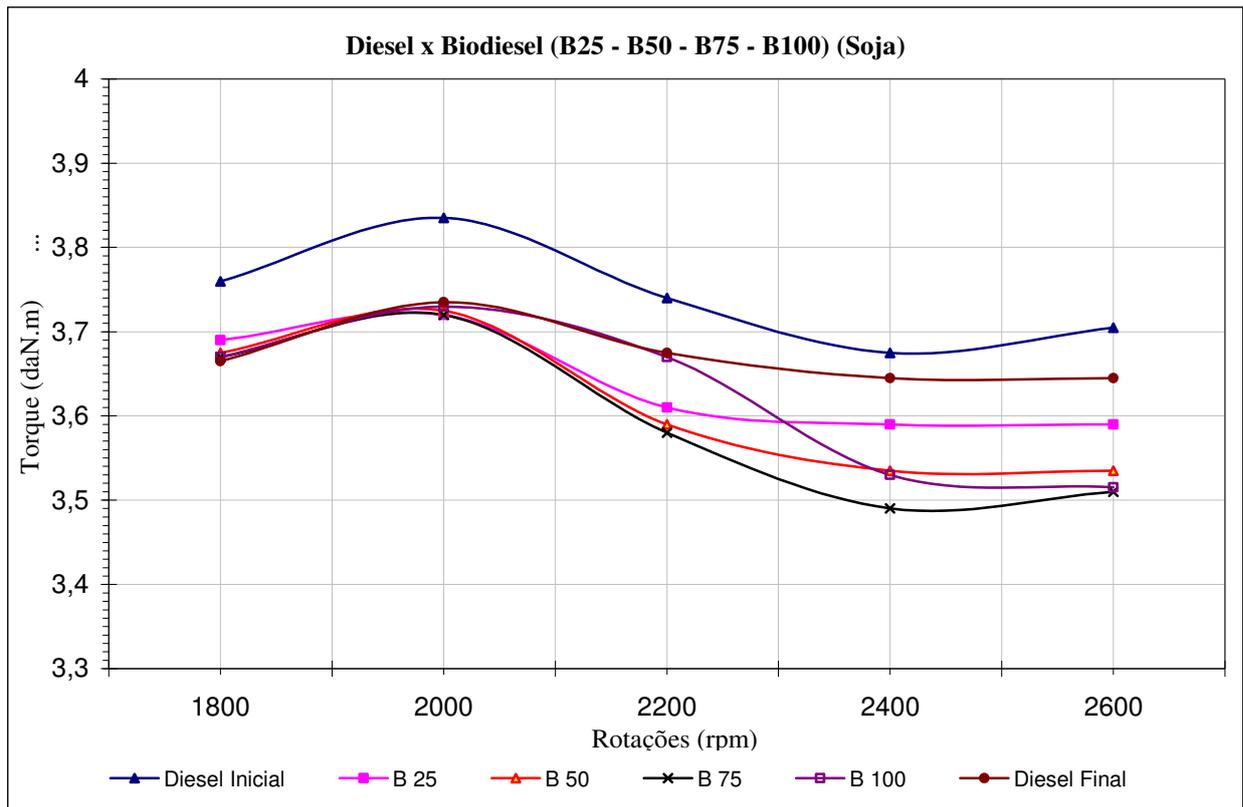


Figura 5.1 – Torque - Biodiesel de Soja. Incerteza de medição máxima  $\pm 0,54\%$ .

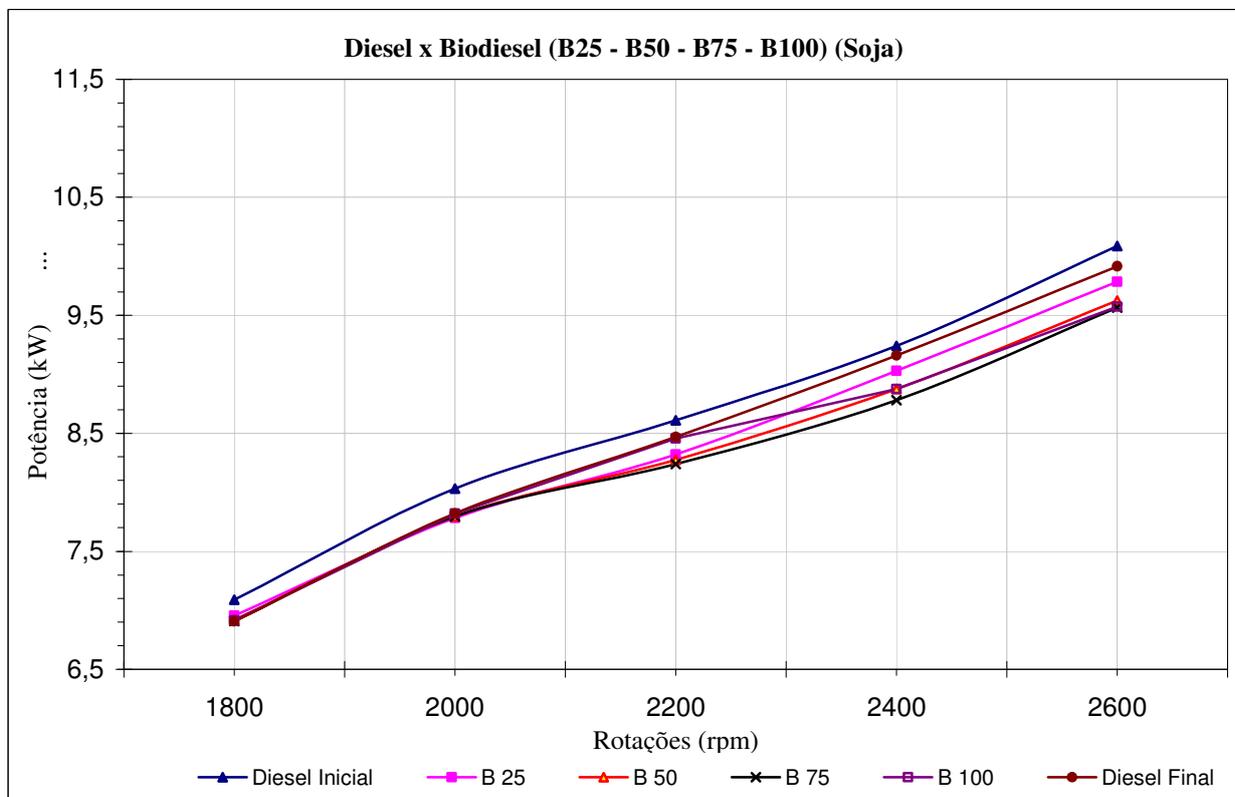


Figura 5.2 – Potência - Biodiesel de Soja. Incerteza de medição máxima  $\pm 1,07\%$ .

### 5.1.2 RESULTADOS – CONSUMO ESPECÍFICO

A Figura 5.3 apresenta as curvas e valores obtidos para o consumo específico nas variações de biodiesel de soja **B25**, **B50**, **B75** e **B100**, aplicadas ao motor M93 ID em relação ao óleo diesel padrão.

Os resultados verificados para as misturas de biocombustíveis, conforme apresentado na Figura 5.3, apresentam as variações muito expressivas em relação aos valores obtidos para o óleo diesel utilizado como padrão de referência e comparação direta.

Em relação ao consumo específico e para a análise detalhada de seu desempenho nos ensaios aplicados ao motor, conforme apresenta a Figura 5.3, verifica-se que para uma mistura de 25% de biodiesel de soja, houve um aumento pouco significativo de aproximadamente 4,9% no consumo específico de combustível biodiesel para a rotação de 1800 RPM, um aumento de 4,7% para a rotação de 2200 RPM e um acréscimo de 4,9% para a rotação de 2600 RPM, tudo em relação ao combustível padrão. Conforme observado, nos valores e curvas dos gráficos, o biodiesel de soja - **B25** apresentou um aumento médio de 4,7% em relação ao combustível óleo diesel.

Para uma mistura de 50% de biodiesel de soja, houve um acréscimo registrado, porém pouco significativo, de aproximadamente 7,1% no consumo específico para o motor na rotação de 1800 RPM, 6% para a rotação de 2200 RPM e 6,3% para a rotação de 2600 RPM, em relação ao combustível padrão. Para o biodiesel de soja - **B50** ocorreu um aumento médio de 6,4% em relação ao óleo diesel inicial.

Analisando-se agora para a mistura de 75% de biodiesel de soja, verifica-se que para esta houve aumentos um pouco mais expressivos, registrados nos ensaios dinamométricos, de aproximadamente 8,1%, 7,3% e 7,8% para as rotações de 1800, 2200 e 2600 RPMs, respectivamente. O biodiesel de soja - **B75** apresentou um acréscimo médio de 7,9% em relação ao óleo diesel padrão.

Para a condição específica de 100% de biodiesel de soja, avalia-se que houve os maiores aumentos no consumo específico em relação ao óleo diesel padrão. Os valores registrados para esta condição são adições de aproximadamente 11,7% para a rotação de 1800 RPM, 11,7% para a rotação de 2200 RPM e 10,5% para a rotação de 2600 RPM do motor. Para o biodiesel de soja - **B100**, houve um acréscimo médio de 11,2% em relação ao combustível de referência.

É importante enfatizar que para todos os ensaios realizados para o biodiesel de soja, o consumo específico, apresentado nas curvas e valores da Figura 5.3, não apresentou variação

considerável em relação ao combustível padrão, tendo-se registrado o valor de 12,1%, para **B100**, como o maior percentual de acréscimo no consumo para todos os ensaios realizados com biodiesel de soja.

Cabe ressaltar que as variações para o parâmetro consumo específico são pequenas, se houver a consideração e análise dos efeitos reais das incertezas combinadas dos equipamentos utilizados nos ensaios sobre os valores coletados para o consumo específico de combustível.

Tanto para o torque como para a potência, a utilização do biodiesel de soja, relativo ao parâmetro consumo específico, trouxe desprezíveis alterações funcionais aplicadas ao motor ensaiado, não havendo assim modificações significativas no comportamento do mesmo.

Também é percebido que o consumo específico aumentou para praticamente todas as condições de ensaio no motor.

O consumo específico de um motor, neste caso o M93 ID, tem relação direta com o poder calorífico do combustível, conforme reportado em estudos de literaturas específicas. O óleo diesel mineral apresenta um poder calorífico maior do que o biodiesel; portanto, fica evidente que a quantidade de combustível necessário para atingir-se a potência desejada, nos ensaios dinamométricos realizados, é menor do que a necessária para o biodiesel de soja.

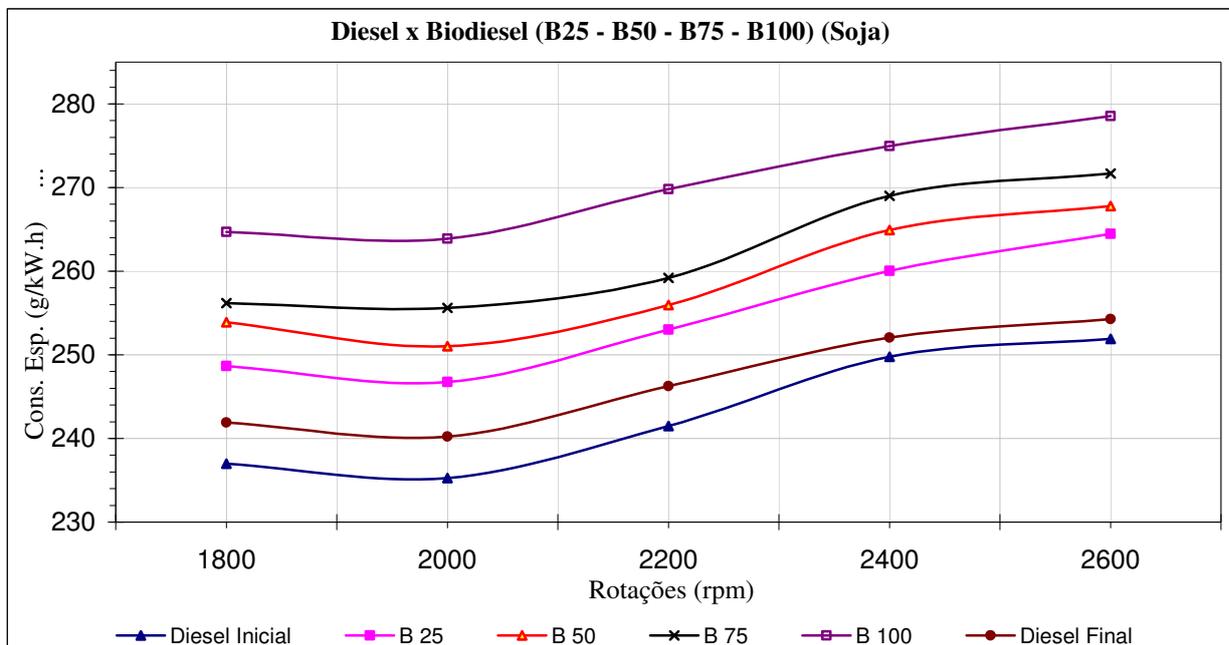


Figura 5.3 – Consumo específico - Biodiesel de Soja. Incerteza de medição máxima  $\pm 5\%$ .

### 5.1.3 RESULTADOS – ÍNDICE DE FUMAÇA

Com relação ao índice de fumaça, a Figura 5.4 apresenta todos os valores e curvas obtidas nos ensaios com bancada dinamométrica para a análise do teor de fumaça desenvolvido pelo motor, ensaiado em termos da unidade específica UB (Unidade Bosch).

Para uma mistura de 25% de biodiesel de soja, avalia-se que houve uma redução significativa de aproximadamente 11,7% no índice de fumaça do combustível biodiesel para a rotação de 1800 RPM, uma redução de 16,8% para a rotação de 2200 RPM e de 11,4% para a rotação de 2600 RPM, tudo em relação ao combustível padrão. Conforme observado nos valores e curvas dos gráficos apresentados, o biodiesel de soja - **B25** apresentou uma redução média de 14,1% em relação ao combustível óleo diesel inicial.

Na condição de 50% de biodiesel de soja, houve uma redução registrada de aproximadamente 23,5% no teor de fumaça para o motor na rotação de 1800 RPM, 26,5% para 2200 RPM e 25,3% a 2600 RPM, em relação ao combustível padrão. Para o biodiesel de soja - **B50** houve um decréscimo médio de 25,2% em relação ao combustível óleo diesel.

Para a mistura de 75% de biodiesel de soja, verifica-se que houve reduções mais expressivas, registradas nos ensaios dinamométricos, de aproximadamente 35,3% para 1800 RPM do motor, 34,9% para 2200 RPM e 40,5% para a rotação de 2600 RPM. O biodiesel de soja - **B75** apresentou uma redução média de 37,3% em relação ao combustível de referência.

Analisando-se para a condição específica de 100% de biodiesel de soja, observou-se que durante a realização dos ensaios houve as maiores reduções registradas nos teores de fumaça, em relação ao óleo diesel padrão. Os valores registrados para esta condição são decréscimos na ordem de aproximadamente 38,8% para a rotação de 1800 RPM do motor, 40,9% para a rotação de 2200 RPM e 40,5% para 2600 RPM. Para o biodiesel de soja - **B100** houve uma redução média de 39,7% em relação ao combustível óleo diesel padrão.

É importante enfatizar que para todos os ensaios realizados para o biodiesel de soja, o parâmetro índice de fumaça, apresentado nas curvas e valores da Figura 5.4, apresentou as maiores variações registradas, tudo em relação ao combustível padrão, tendo assim registrado o valor de 41,2%, para **B75**, como o maior percentual de redução do teor de fumaça registrado para todos os ensaios realizados com biodiesel de soja em laboratório. A utilização do biodiesel de soja, relativo ao índice de fumaça, demonstrou também desprezíveis alterações funcionais aplicadas ao motor ensaiado, não havendo assim modificações significativas no comportamento do mesmo.

Conforme desenvolvido e analisado nesta etapa do trabalho, o índice de fumaça se reduziu para praticamente todas as condições de ensaio no motor, em concordância com resultados e análises reportadas em literatura específica.

O teor de fumaça, emitido por um motor ciclo Diesel, neste caso o M93 ID, tem relação direta com o nível de poluentes emitidos na atmosfera de nosso planeta.

Avaliando-se neste momento o conjunto de fatores estudados até este ponto, parâmetros como potência, torque, consumo específico e índice de fumaça pode-se afirmar que para os ensaios com biodiesel de soja, em faixas de rotações intermediárias aos limites de operação do motor ensaiado, este não afeta os regimes normais de trabalho, tornando o funcionamento do motor mais estável ao uso do combustível biodiesel de soja.

Para as faixas de rotações em que o motor opera em seus limites funcionais e de projeto (máximas e mínimas rotações do motor), percebe-se maior tendência à instabilidade de operação do motor ensaiado.

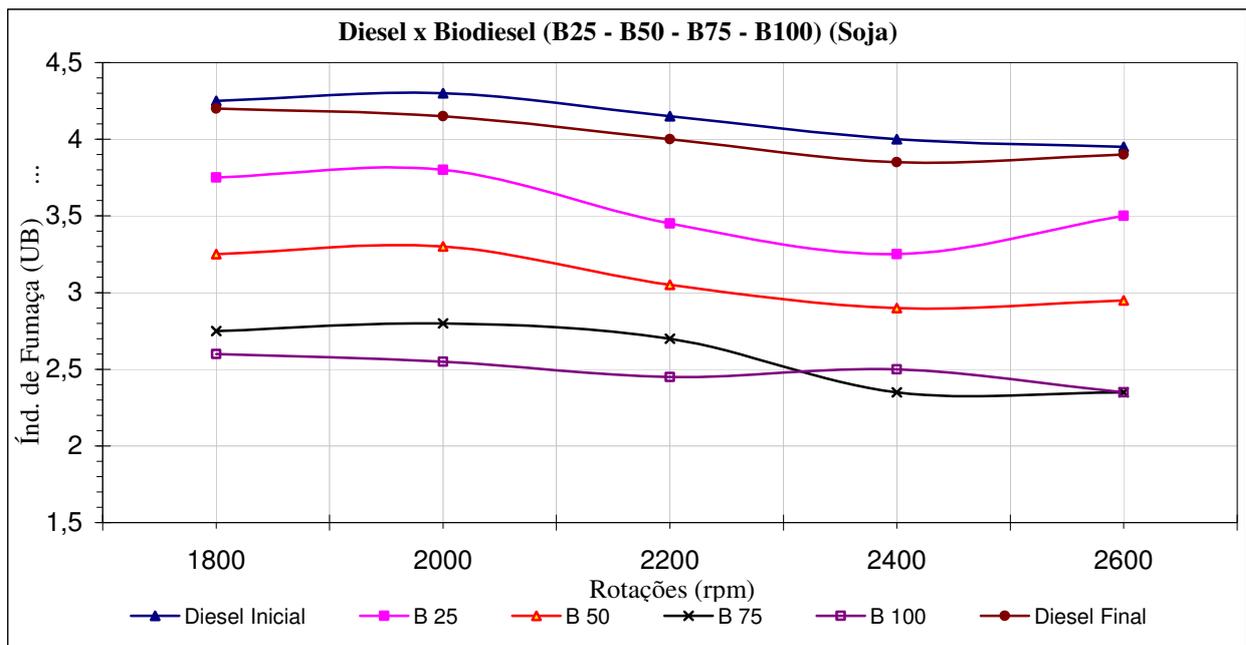


Figura 5.4 – Índice de fumaça - Biodiesel de Soja. Incerteza de medição máxima  $\pm 2\%$ .

## 5.2 RESULTADOS - BIODIESEL DE MAMONA

### 5.2.1 RESULTADOS – TORQUE E POTÊNCIA

As Figuras 5.5 e 5.6 apresentam as curvas e valores obtidos para o torque e para a potência, nas variações de biodiesel de mamona **B25**, **B50**, **B75** e **B100**, aplicadas ao motor M93 ID em relação ao óleo diesel padrão. As Figuras 5.5 e 5.6 apresentam todas as curvas obtidas durante os respectivos ensaios, para que se possa ter uma visão geral de desempenho relativo a cada combustível aplicado ao motor. Os resultados verificados para as misturas de biocombustíveis, conforme destacado nestas mesmas figuras, não apresentam modificações significativas em relação aos valores obtidos para o óleo diesel utilizado como padrão de referência.

Conforme apresentado nas Figuras 5.5 e 5.6 para a análise dos parâmetros torque e potência desenvolvido pelo motor, verifica-se que para uma mistura de 25% de biodiesel de mamona, houve um aumento pouco significativo de aproximadamente 1,9% para a rotação de 1800 RPM, 0,8% para a rotação de 2200 RPM e 0,7% para a rotação de 2600 RPM, tudo em relação ao combustível padrão. Também observado nos valores e curvas dos gráficos, o biodiesel de mamona - **B25** apresentou um aumento médio e desprezível de 1,3% em relação ao combustível óleo diesel de referência.

Para 50% de biodiesel de mamona, houve um aumento registrado e também pouco significativo de aproximadamente 1,7% para rotação de 1800 RPM, uma redução de 0,5% para a rotação de 2200 RPM e novamente um aumento de 0,4% para a rotação de 2600 RPM, em relação ao combustível padrão. Para o biodiesel de mamona - **B50** houve um acréscimo médio de 0,4% em relação ao óleo diesel.

Avaliando-se para 75% de biodiesel de mamona, verifica-se que nesta mistura também houve acréscimos pouco expressivos, registrados nos ensaios dinamométricos, de aproximadamente 3,5%, 2,1% e 2,6% para as respectivas rotações de 1800, 2200 e 2600 RPMs. O biodiesel de mamona - **B75** apresentou um aumento médio e pouco expressivo de 2,6% em relação ao combustível padrão.

Para o caso de 100% de biodiesel de mamona, verifica-se que houve os aumentos mais expressivos registrados nos ensaios para este tipo de biocombustível. Os valores registrados para esta condição são aumentos de aproximadamente 4,1%, 3,6% e 1,5% para 1800, 2200 e 2600

RPMs respectivamente. Para o biodiesel de mamona - **B100** houve um acréscimo médio nos parâmetros torque e potência de aproximadamente 3,3% em relação ao combustível óleo diesel.

É importante destacar que para todos os ensaios realizados para o biodiesel de mamona, os parâmetros analisados, apresentados nas curvas nas Figuras 5.5 e 5.6, não apresentaram variações consideráveis em relação ao combustível padrão, tendo-se registrado o valor de 5,2% para **B100** como o maior percentual de acréscimo do torque e da potência para todos os ensaios realizados com biodiesel de mamona. A utilização do biodiesel de mamona, de maneira similar ao que foi constatado para o biodiesel de soja com relação ao torque e a potência, trouxe pequenas alterações funcionais aplicadas ao motor ensaiado.

Para aplicações convencionais do motor Diesel M93 ID, não haverá alteração perceptível de funcionamento em relação ao desenvolvimento do torque e da potência.

É importante enfatizar que esta análise é parcial, pois enfoca somente a potência e o torque, que tem grande influência em operação, aplicação e funcionamento do referido motor.

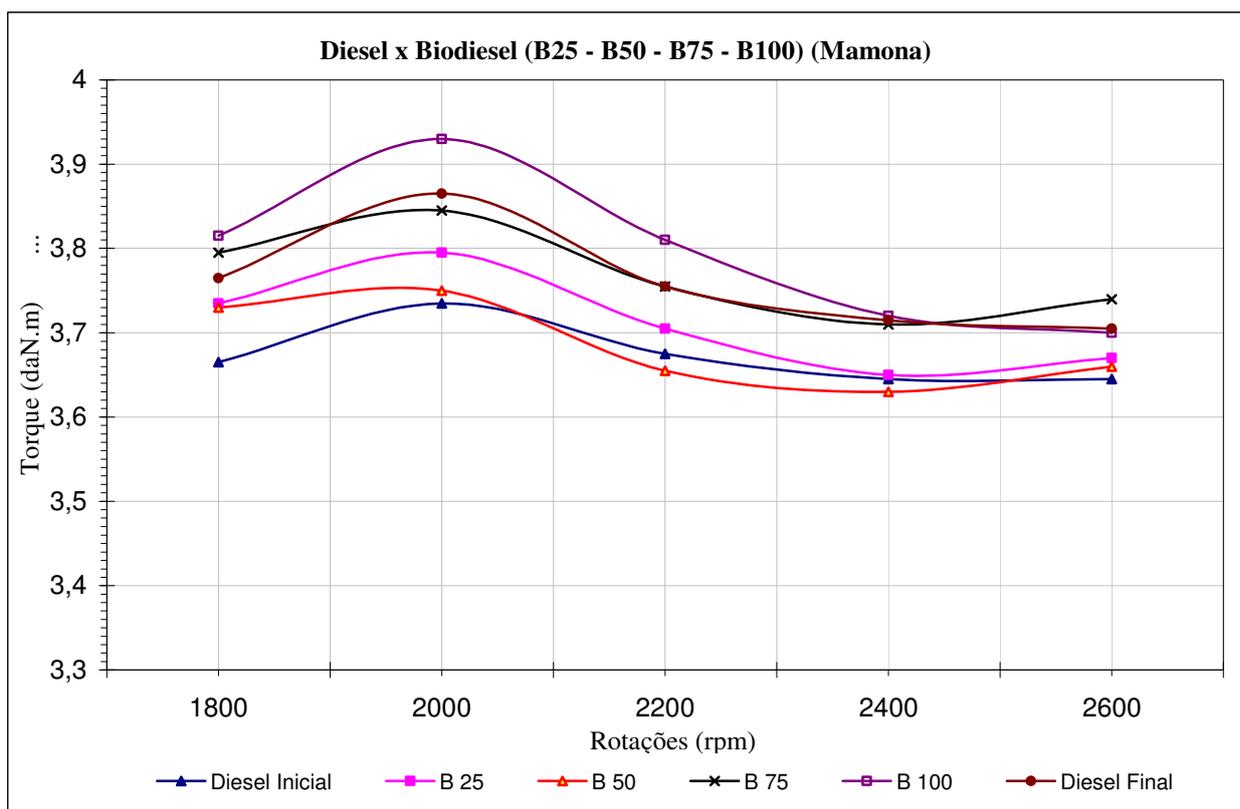


Figura 5.5 – Torque - Biodiesel de Mamona. Incerteza de medição máxima  $\pm 0,54\%$ .

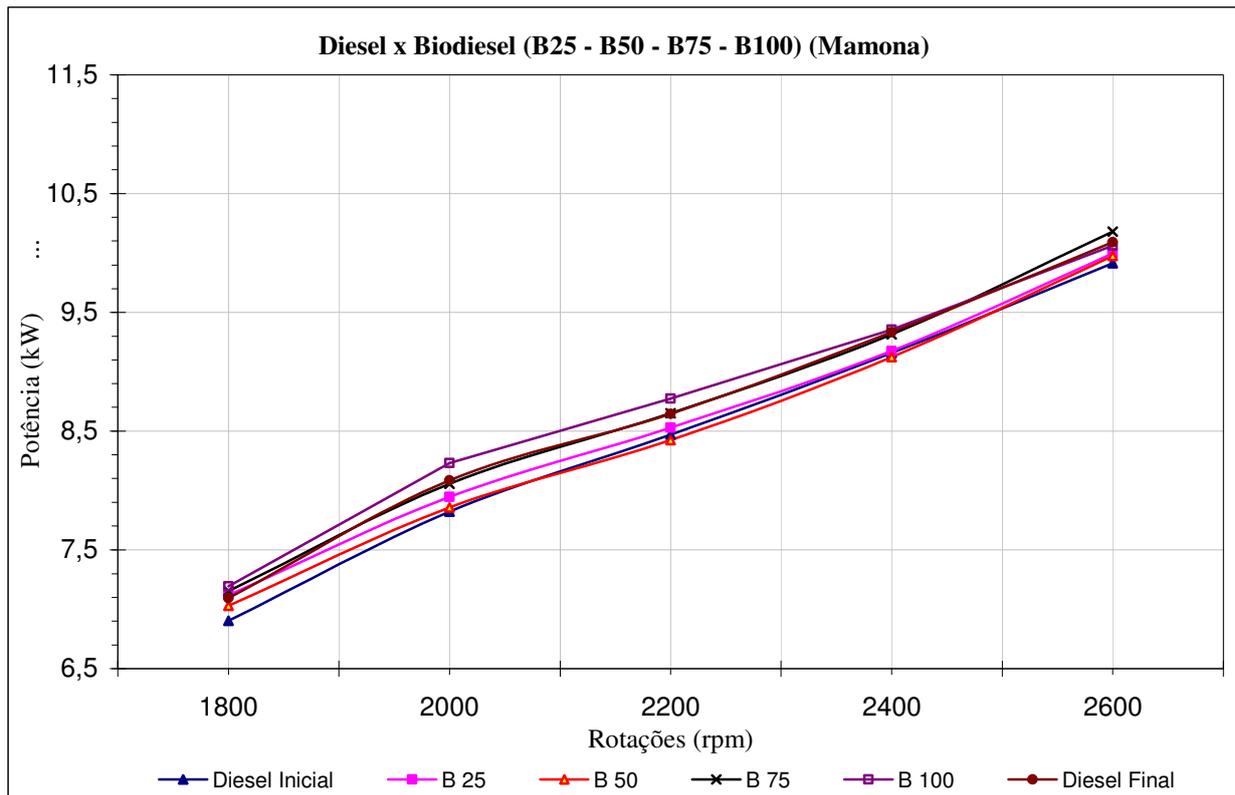


Figura 5.6 – Potência - Biodiesel de Mamona. Incerteza de medição máxima  $\pm 1,07\%$ .

## 5.2.2 RESULTADOS – CONSUMO ESPECÍFICO

A Figura 5.7 apresenta o complexo de curvas e valores obtidos para consumo específico para as variações de biodiesel de mamona **B25**, **B50**, **B75** e **B100**, aplicadas ao motor M93 ID em relação ao óleo diesel padrão.

Todos estes dados foram obtidos em ensaios realizados conforme metodologia e equipamentos descritos neste trabalho.

Os resultados verificados para as misturas de biodiesel de mamona, conforme citado na Figura 5.7, apresentam variações expressivas em relação aos valores obtidos para o óleo diesel, utilizado como padrão de referência e comparação direta.

Em relação ao consumo específico e para a análise detalhada de seu desempenho nos ensaios aplicados ao motor, percebe-se que, para uma mistura de 25% de biodiesel de mamona, houve um aumento pouco significativo de aproximadamente 4,2% no consumo específico de combustível biodiesel para a rotação de 1800 RPM, um aumento de 4,1% para a rotação de 2200 RPM e um acréscimo de 5,1% para a rotação de 2600 RPM. Conforme observado nos valores

para o biodiesel de mamona - **B25**, este apresentou um aumento médio e pouco significativo de 4,4% em relação ao combustível óleo diesel.

Para 50% de biodiesel de mamona, houve um acréscimo registrado, porém pouco significativo, de aproximadamente 5,9% no parâmetro consumo específico na rotação de 1800 RPM, 6,7% para a rotação de 2200 RPM e 5,2% para a rotação de 2600 RPM, em relação ao combustível padrão. Para o biodiesel de mamona - **B50**, houve um aumento médio de 6,4% em relação ao combustível óleo diesel.

Analisando-se para a mistura de 75% de biodiesel de mamona, verifica-se que para esta ocorreram aumentos, registrados nos ensaios dinamométricos, de aproximadamente 8,2%, 8,7% e 7,4% para 1800, 2200 e 2600 RPMs, respectivamente. O biodiesel de mamona - **B75** apresentou um acréscimo médio aproximado de 8,5% em relação ao combustível óleo diesel.

Para 100% de biodiesel de mamona, percebe-se que houve os maiores aumentos no consumo específico em relação ao padrão. Os valores registrados para esta condição são acréscimos de aproximadamente 14,5%, 13,8% e 13,7% para as rotações respectivas de 1800, 2200 e 2600 RPMs. Para o biodiesel de mamona - **B100** houve um acréscimo médio de aproximadamente 13,8% em relação ao combustível de referência.

É importante destacar que, para todos os ensaios realizados para o biodiesel de mamona, o consumo específico, apresentado nas curvas e valores da Figura 5.7, apresentou variação pouco considerável em relação ao combustível óleo diesel, tendo-se registrado o valor de 14,5% para **B100** como o maior percentual de acréscimo neste parâmetro.

A utilização do biodiesel de mamona, tanto quanto o observado para o biodiesel de soja em relação ao consumo específico, trouxe desprezíveis alterações funcionais aplicadas ao motor ensaiado, não havendo assim modificações significativas no comportamento do mesmo.

Conforme também definido anteriormente, o consumo específico de um motor tem relação direta com o poder calorífico do combustível; portanto, o óleo diesel mineral apresenta em geral um poder calorífico maior do que o biodiesel, ficando evidente que a quantidade de combustível necessário para atingir-se a potência e o torque desejados nos ensaios dinamométricos realizados, é menor do que a necessária para o biodiesel de mamona.

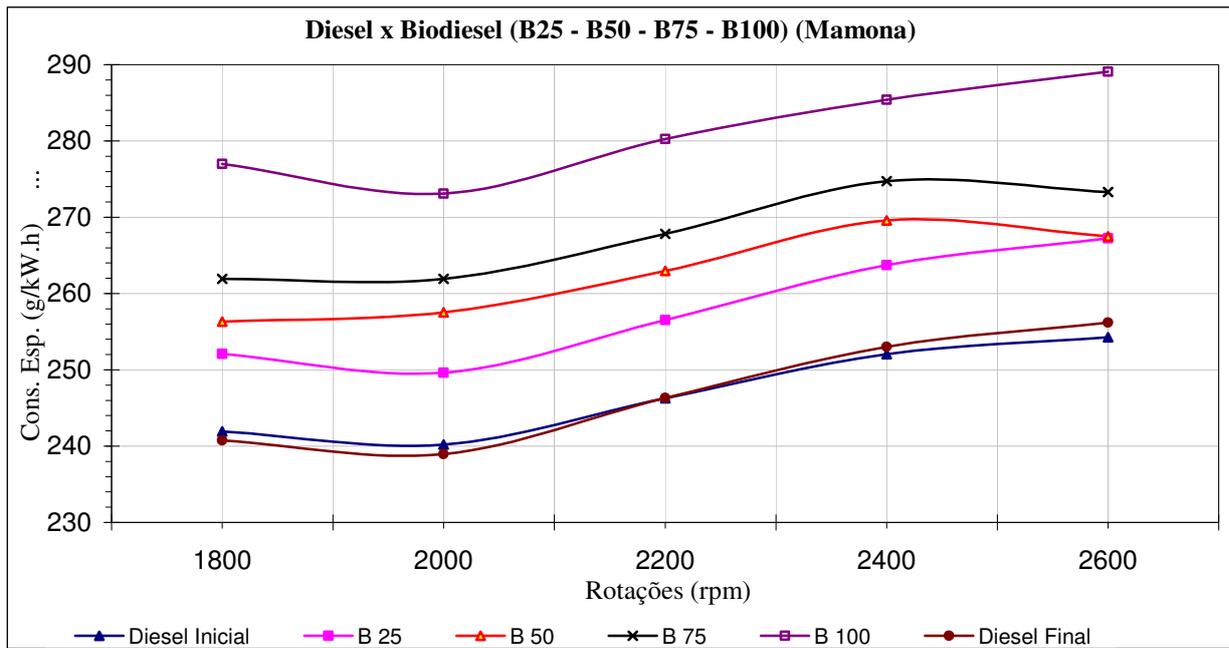


Figura 5.7 – Consumo específico - Biodiesel de Mamona. Incerteza de medição máxima  $\pm 5\%$ .

### 5.2.3 RESULTADOS – ÍNDICE DE FUMAÇA

Com relação ao índice de fumaça, a Figura 5.8 apresenta todos os valores e curvas obtidas nos ensaios com bancada dinamométrica para a análise do teor de fumaça desenvolvido pelo motor M93 ID, ensaiada em termos da unidade específica UB (Unidade Bosch).

Para 25% de biodiesel de mamona, observa-se que ocorreu uma redução significativa, de aproximadamente 19,1% no índice de fumaça do combustível biodiesel para a rotação de 1800 RPM, uma redução de 20% para a rotação de 2200 RPM e de 20,5% para a rotação de 2600 RPM em relação ao combustível padrão. Conforme observado acima, o biodiesel de mamona - **B25** apresentou uma redução média aproximada de 18,9% em relação ao combustível óleo diesel padrão de referência.

Para o caso da mistura de 50% de biodiesel de mamona, houve um decréscimo registrado de aproximadamente 29,7%, 32,5% e 28,2% para as respectivas rotações de 1800, 2200 e 2600 RPMs, tudo em relação ao óleo diesel. Para o biodiesel de mamona - **B50** houve uma redução média aproximada de 29,8% em relação ao combustível padrão.

Avaliando-se agora a mistura de 75% de biodiesel de mamona, percebe-se que para esta ocorreram algumas das reduções mais expressivas registradas nos ensaios dinamométricos, de aproximadamente 42,8%, 43,7% e 41% para as rotações de 1800, 2200 e 2600 RPMs,

respectivamente. O biodiesel de mamona - **B75** apresentou uma redução média considerável de 41,2% em relação ao combustível óleo diesel inicial.

Por fim, para a condição específica de 100% de biodiesel de mamona, observa-se que também houve reduções consideráveis registradas nos índices de fumaça em relação ao óleo diesel padrão. Os valores para esta condição são decréscimos na ordem de aproximadamente 36,9%, 36,2% e 32% para as rotações de 1800, 2200 e 2600 RPMs, respectivamente. Para o biodiesel de mamona - **B100** ocorreu uma redução média aproximada de 35% em relação ao combustível óleo diesel.

Para todos os ensaios realizados com biodiesel de mamona, é importante ressaltar que o índice de fumaça, apresentado nas curvas e valores da Figura 5.8, apresentou as maiores variações percentuais registradas, tudo em relação ao combustível padrão, tendo assim se registrado o valor de 43,7%, para **B75**, como o maior percentual de redução do teor de fumaça alcançado para todos os ensaios realizados com biodiesel de mamona em laboratório.

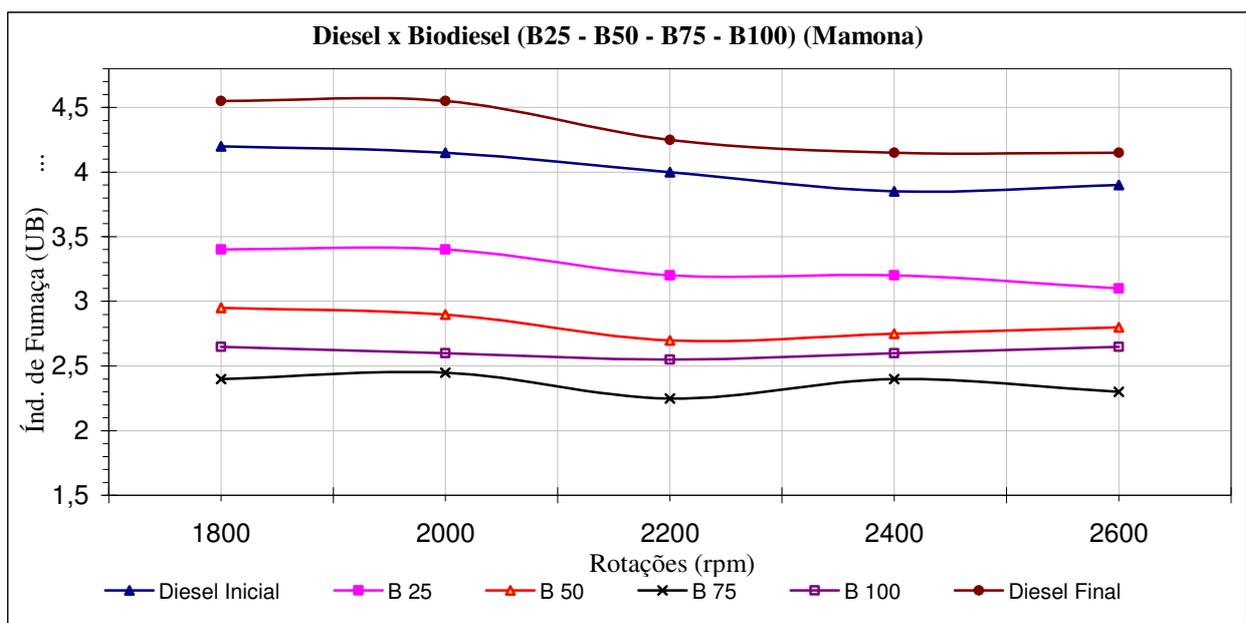


Figura 5.8 – Índice de fumaça - Biodiesel de Mamona. Incerteza de medição máxima  $\pm 2\%$ .

## 5.3 RESULTADOS - BIODIESEL DE DENDÊ

### 5.3.1 RESULTADOS – TORQUE E POTÊNCIA

As Figuras 5.9 e 5.10 apresentam as curvas e os valores obtidos para o torque e para a potência, respectivamente, para as variações de biodiesel de dendê **B25**, **B50**, **B75** e **B100**, aplicadas ao referido motor em relação ao óleo diesel de referência.

Conforme apresentam as Figuras 5.9 e 5.10, para análises do torque e da potência desenvolvido pelo motor, verifica-se que para uma mistura de 25% de biodiesel de dendê, houve uma redução pouco significativa de aproximadamente 1,3%, 2,5% e 1,5% para as respectivas rotações de 1800, 2200 e 2600 RPM, tudo em relação ao combustível padrão. Percebe-se que o biodiesel de dendê - **B25** apresentou uma redução média de aproximadamente 1,8% em relação ao combustível óleo diesel inicial.

Para 50% de biodiesel de dendê, houve uma redução registrada e também pouco significativa, de aproximadamente 5,1%, 6,8% e 5,9% para as rotações de 1800, 2200 e 2600 RPM, respectivamente. Para o biodiesel de dendê - **B50** houve uma redução média de aproximadamente 5,7% em relação ao combustível óleo diesel de referência.

Avaliando-se para a mistura de 75% de biodiesel de dendê, verifica-se que nesta mistura houve reduções expressivas, de aproximadamente 6,2%, 11,6% e 9,3% para as respectivas rotações de 1800, 2200 e 2600 RPM. O biodiesel de dendê - **B75** apresentou uma redução média de aproximadamente 9% em relação ao combustível óleo diesel padrão de referência.

Para a condição de 100% de biodiesel de dendê, avaliou-se, durante a realização dos ensaios dinamométricos, que houve os decréscimos mais significativos, cujos valores registrados para esta condição são de aproximadamente 6,6%, 9,3% e 11,7% para as rotações de 1800, 2200 e 2600 RPM, respectivamente. Para o biodiesel de dendê - **B100** ocorreu uma redução média aproximada de 9% em relação ao combustível padrão.

Da mesma forma que percebido para o biodiesel de soja e de mamona, é muito importante destacar que para todos os ensaios realizados para o biodiesel de dendê, o torque e a potência apresentados nas curvas nas Figuras 5.9 e 5.10 não apresentaram variações consideráveis em relação ao combustível padrão, tendo-se registrado o valor de 11,7%, para **B100** como o maior percentual de redução dos parâmetros de torque e potência para todos os ensaios realizados com biodiesel de dendê em laboratório dinamométrico.

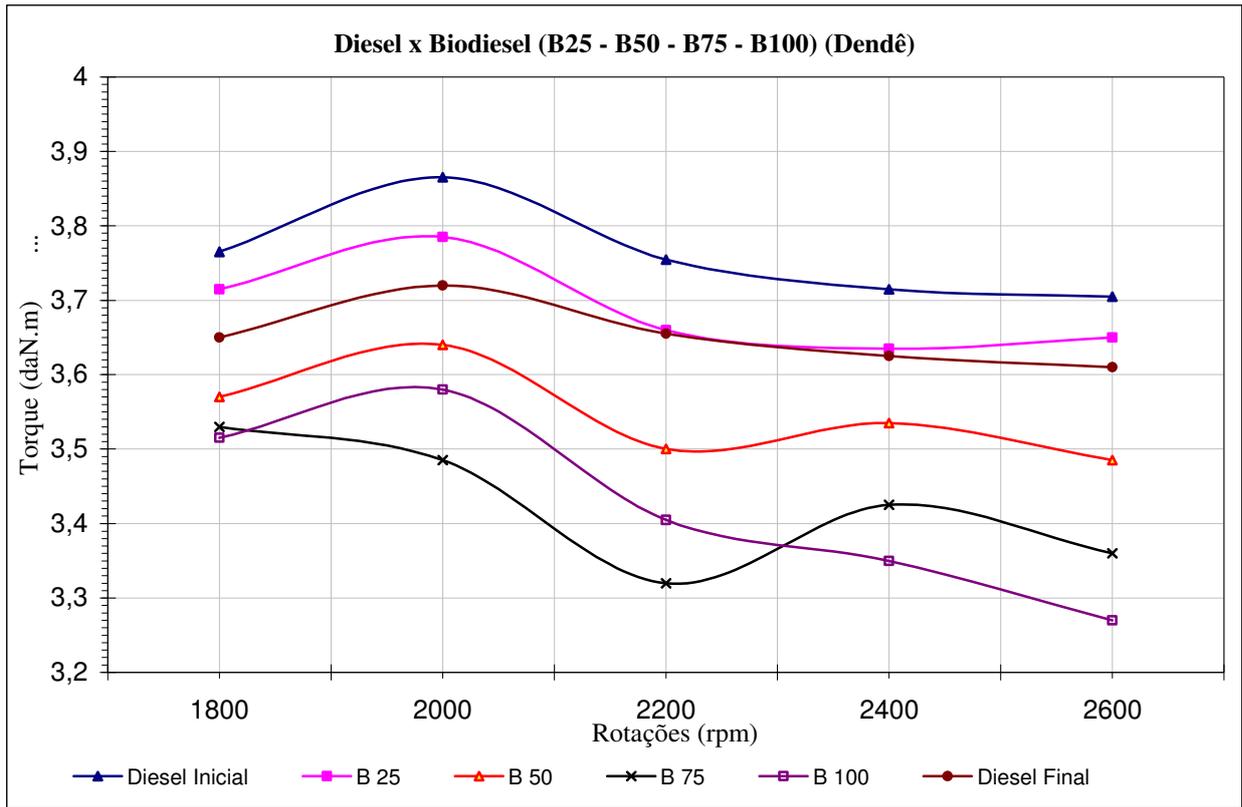


Figura 5.9 – Torque - Biodiesel de Dendê. Incerteza de medição máxima  $\pm 0,54\%$ .

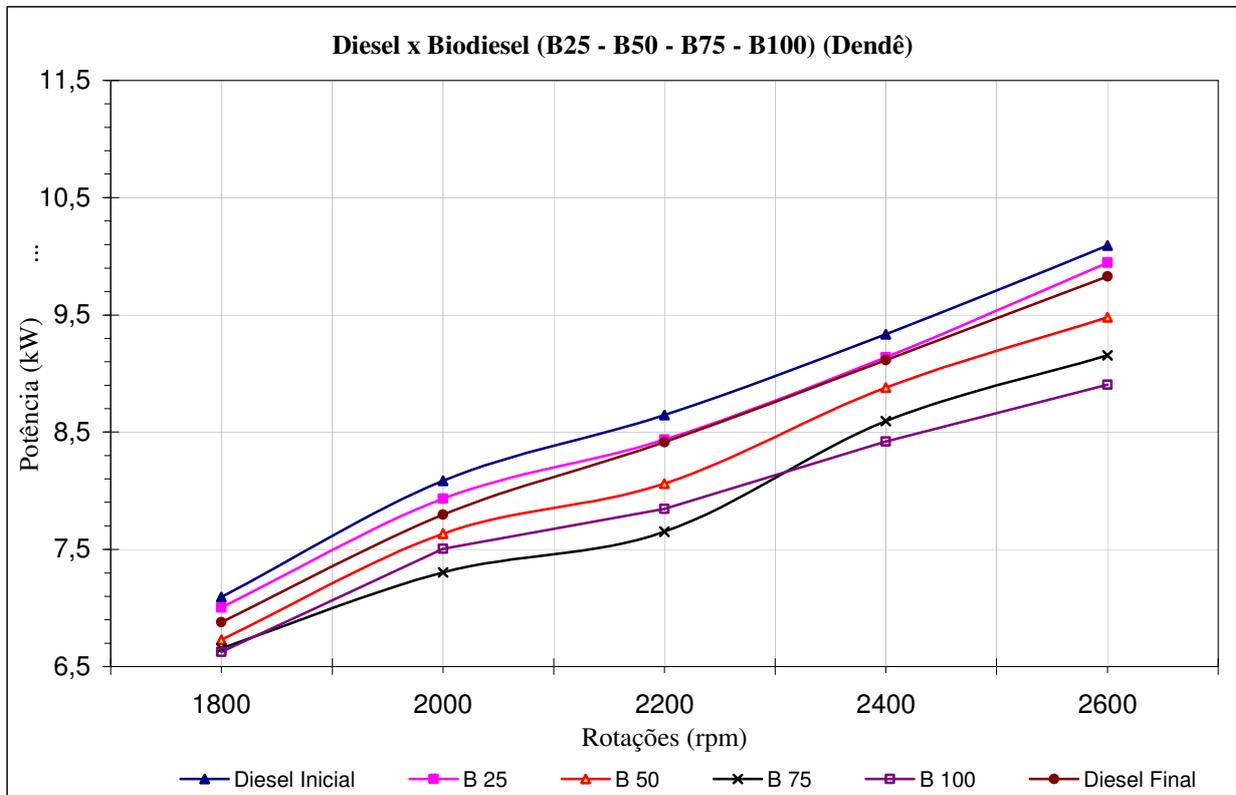


Figura 5.10 – Potência - Biodiesel de Dendê. Incerteza de medição máxima  $\pm 1,07$ .

### 5.3.2 RESULTADOS – CONSUMO ESPECÍFICO

A Figura 5.11 apresenta o conjunto de valores e curvas obtidos para o consumo específico para as variações de biodiesel de dendê **B25**, **B50**, **B75** e **B100**, aplicadas ao motor M93 ID, em relação ao óleo diesel padrão de referência.

Os resultados obtidos para as misturas de biodiesel de dendê, da mesma forma que os encontrados para os valores do biodiesel de soja e mamona, apresentam algumas das variações mais expressivas em relação aos valores obtidos para o óleo diesel de referência.

Em relação ao consumo específico e para a análise detalhada de seu desempenho nos ensaios aplicados ao motor, conforme apresenta a Figura 5.11, percebe-se que para uma mistura de 25% de biodiesel de dendê, houve um aumento pouco significativo de aproximadamente 3,1% no consumo específico de combustível biodiesel para a rotação de 1800 RPM, um aumento de 2,7% para a rotação de 2200 RPM e um acréscimo de 1,6% para a rotação de 2600 RPM. Conforme observado nos valores para o biodiesel de dendê - **B25**, este apresentou um aumento médio e pouco significativo de 2,6%, em relação ao combustível óleo diesel referência.

Para 50% de biodiesel de dendê houve um acréscimo registrado, porém pouco significativo, de aproximadamente 6,9%, 3,6% e 3,3% para as respectivas rotações de 1800, 2200 e 2600 RPM, tudo relacionado ao combustível padrão. Para o caso com biodiesel de dendê - **B50**, houve um aumento médio aproximado de 4,7% em relação ao combustível padrão.

Para o caso de uma mistura de 75% de biodiesel de dendê, verifica-se que para esta ocorreram aumentos, registrados nos ensaios com o motor, de aproximadamente 7,1%, 4,4% e 4,5% para as rotações de 1800, 2200 e 2600 RPM, respectivamente. O biodiesel de dendê - **B75** apresentou um acréscimo médio aproximado de 5,6% em relação ao combustível óleo diesel padrão. Para a condição exclusiva de 100% de biodiesel de dendê, percebe-se que ocorreram os maiores aumentos no consumo específico em relação ao óleo diesel. Os valores registrados para esta condição são acréscimos de aproximadamente 11,8%, 10,2% e 9,9% para as respectivas rotações de 1800, 2200 e 2600 RPM. Para o caso do biodiesel de dendê - **B100** houve um acréscimo médio de aproximadamente 10,3% em relação ao combustível óleo diesel. Similar ao ocorrido com o biodiesel de soja e de mamona, é importante destacar que para todos os ensaios realizados para o biodiesel de dendê, o consumo específico, apresentado nas curvas e valores da Figura 5.11, apresentou variação pouco considerável em relação ao combustível padrão, tendo-se registrado o valor de 11,8% para **B100** como o maior percentual de acréscimo no consumo específico para todos os ensaios realizados no motor.

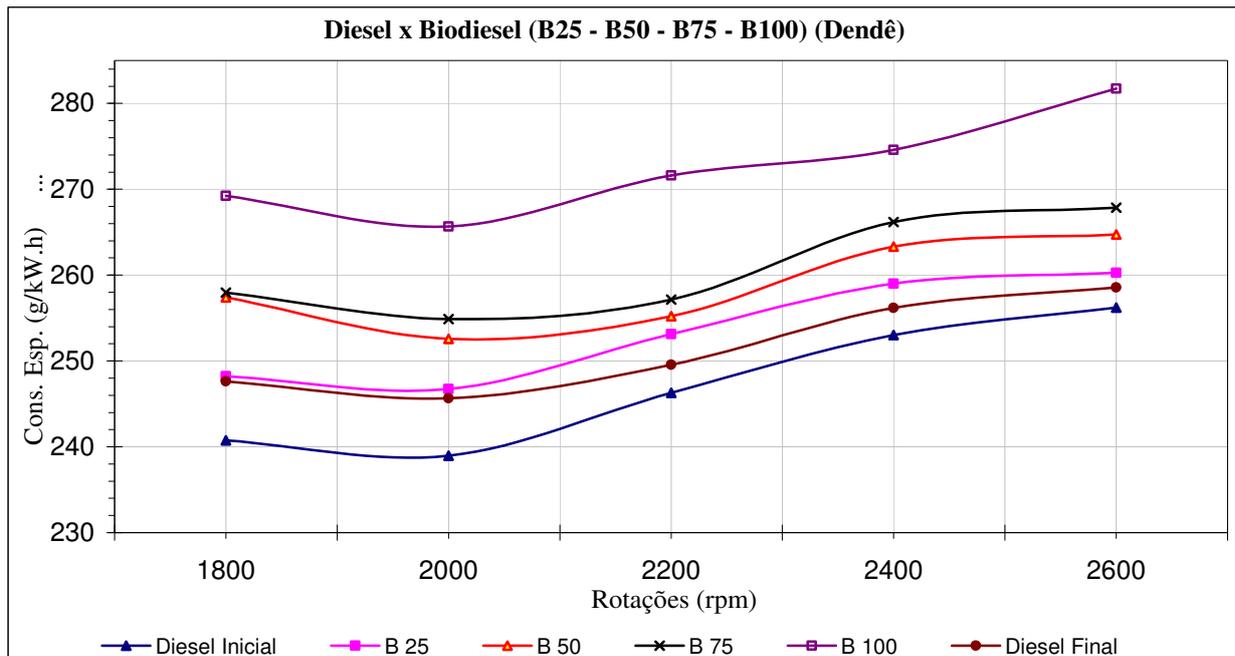


Figura 5.11 – Consumo específico - Biodiesel de Dendê. Incerteza de medição máxima  $\pm 5\%$ .

### 5.3.3 RESULTADOS – ÍNDICE DE FUMAÇA

Com relação ao índice de fumaça, a Figura 5.12 apresenta todos os valores e curvas obtidas nos ensaios com bancada dinamométrica para a análise do teor de fumaça desenvolvido. Constata-se pela análise da Figura 5.12, que para uma mistura de 25% de biodiesel de dendê, ocorreu uma redução muito acentuada, de aproximadamente 13,2% no valor do índice de fumaça, para o combustível biodiesel na rotação de 1800 RPM, uma redução significativa de 14,1% para a rotação de 2200 RPM e de 14,5% para a rotação de 2600 RPM, tudo em relação ao combustível padrão. Para o biodiesel de dendê - **B25**, avalia-se uma redução média aproximada de 13,8% em relação ao combustível óleo diesel padrão.

Para o caso de misturas com 50% de biodiesel de dendê, houve um decréscimo registrado de aproximadamente 24,2%, 32,9% e 30,1% para as rotações respectivas de 1800, 2200 e 2600 RPM. Para o biodiesel de dendê - **B50**, houve uma redução média de aproximadamente 29,3% em relação ao combustível óleo diesel.

Para 75% de biodiesel de dendê, percebe-se que ocorreram reduções mais acentuadas, registradas nos ensaios dinamométricos, de aproximadamente 40,7%, 48,2% e 43,3% para as rotações de 1800, 2200, 2600 RPM, respectivamente. O biodiesel de dendê - **B75** apresentou uma redução média considerável de aproximadamente 43,9% em relação ao combustível óleo

diesel, padrão de referência. Para a condição específica com 100% de biodiesel de dendê, observou-se que ocorreram as maiores reduções registradas nos índices de fumaça, em relação ao óleo diesel padrão. Os valores registrados para esta condição são decréscimos significativos na ordem de aproximadamente 47,2%, 54,1% e 49,4% para as rotações respectivas de 1800, 2200 e 2600 RPM do motor ensaiado. Para o biodiesel de dendê - **B100**, percebeu-se uma redução média aproximada de 50% em relação ao combustível de referência. Nos ensaios realizados com biodiesel de dendê, similar ao ocorrido nos testes realizados com o biodiesel de soja e mamona, é de suma importância ressaltar que o índice de fumaça, apresentado nas curvas e valores da Figura 5.12, apresentou as maiores variações percentuais registradas, em relação ao combustível óleo diesel padrão, tendo assim se registrado o valor de 54,1%, para **B100** como o maior percentual de redução do teor de fumaça alcançado para todos os ensaios realizados com biodiesel de dendê em laboratório dinamométrico. Em concordância ao ocorrido com o biodiesel de soja e mamona, e conforme apresentado e analisado anteriormente, o índice de fumaça se reduziu para praticamente todas as condições de ensaio no motor, operando com biodiesel de dendê, em concordância com resultados e análises reportadas em literatura técnica específica. Pode-se concluir então que, para o teor de fumaça emitido por um motor ciclo Diesel, operando com biodiesel de dendê, existe uma relação direta com o nível de poluentes emitidos na atmosfera. Por análise da Figura 5.12, constata-se que houve grande melhora de operação com biodiesel de dendê em relação à operação do motor com combustível óleo diesel mineral.

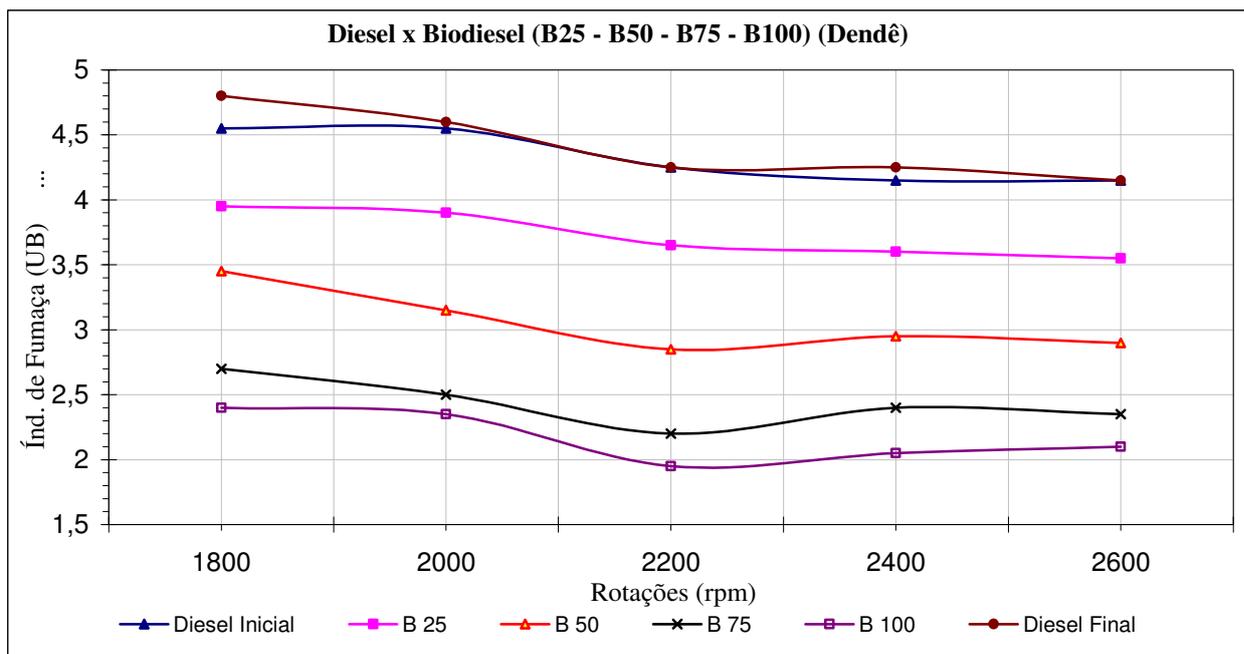


Figura 5.12 – Índice de fumaça - Biodiesel de Dendê. Incerteza de medição máxima  $\pm 2\%$ .

## 5.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados anteriormente destacam o comportamento dos parâmetros de potência, torque, consumo específico e índice de fumaça, em uma série de ensaios realizados no motor M93 ID da empresa Agrale S.A., operando com variações em percentuais específicos de biodiesel de soja, mamona e dendê. Pode-se verificar que potência, torque, consumo específico e índice de fumaça nestas condições mostram que são influenciados por certas propriedades dos combustíveis, alterando assim o funcionamento do motor analisado.

Conforme estudos de alguns autores [Bueno, 2006; Santos, 2007] que também investigaram os efeitos de certas propriedades como, viscosidade, densidade, número de cetanos, poder calorífico e exergia, pode-se avaliar, observando-se os resultados obtidos, que existe grande influência destas no funcionamento, desempenho e na obtenção de potência e torque, bem como em relação ao consumo específico e índice de fumaça emitido pelo motor. As análises mais detalhadas com relação à influência destas propriedades são realizadas neste capítulo, de forma separada, para o torque, potência, consumo específico e para os índices de fumaça.

Reportados em literatura especializada [Bueno, 2006; Santos, 2007 e Bueno, L., 2008], existem ainda outros fatores que influenciam diretamente o desempenho de um motor operando com variações de biodiesel. Em alguns trabalhos de autores como Bueno, L., 2008, pode-se verificar que o número de cetanos, que para o biodiesel normalmente é maior (com exceção do biodiesel de mamona), é utilizado para caracterizar a qualidade de ignição do óleo diesel, sendo que existe uma tendência a um crescimento do número de cetanos quanto maior for a cadeia carbônica do composto. Estudado por alguns especialistas, outras propriedades como a viscosidade, densidade e o poder calorífico também são alteradas com o uso de misturas de biodiesel no óleo diesel. O aumento da viscosidade relacionada com a variação da densidade, decorrente da adição de biodiesel ao óleo diesel, afeta a atomização e leva à formação de gotículas maiores, o que aumenta o tempo necessário para que ocorram os processos físicos de evaporação e mistura com o ar, que antecedem o início da combustão, fazendo com que haja maior atraso de ignição no motor operando com misturas de biodiesel, a fim de manter-se parâmetros de funcionamento similares aos da operação com óleo diesel puro.

A adição de biodiesel diminui o poder calorífico da mistura combustível, o que leva à diminuição da temperatura na câmara de combustão e redução na energia total obtida, em função do tempo, aumentando significativamente o consumo específico de combustível para se manter estáveis os parâmetros de torque e potência do motor ensaiado.

### 5.4.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS – TORQUE E POTÊNCIA

As curvas das Figuras 5.13 a 5.20 representam as variações em 25%, 50%, 75% e 100% de biodiesel de soja, mamona e dendê, relativas aos parâmetros torque e potência.

Diferentemente do apresentado anteriormente para cada tipo específico de biodiesel, neste momento se verifica uma junção de informações relativas aos combustíveis biodiesel de soja, mamona e dendê, onde estes são analisados em comparações diretas de níveis de concentrações. Todas as análises terão como base de comparação o óleo diesel padrão (tipo B), chamado neste trabalho de diesel inicial. É importante frisar que, para os cálculos das médias e relações entre as misturas de biodiesel, utilizou-se uma média calculada para o padrão de referência diesel inicial, pois para cada ensaio em bancada dinamométrica obteve-se um valor específico para o diesel inicial, conforme apresentado pelas Tabelas A8 a A19 dos anexos deste trabalho.

Um ponto importante, observando-se os gráficos, é que o desempenho do motor em relação ao torque e à potência tende a se reduzir quando opera com misturas mais acentuadas de biodiesel, ou quando opera com o biodiesel puro em relação ao óleo diesel padrão de referência (diesel inicial).

Conforme observado em literatura especializada, as propriedades podem vir a afetar muito o desempenho do motor ensaiado em bancada dinamométrica, no que diz respeito aos parâmetros de torque e potência desenvolvidos. Para os casos apresentados pelos gráficos 5.13 a 5.20, uma série de análises detalhadas das curvas e valores pode ser feita, quando se compara o biodiesel e suas misturas com o combustível padrão óleo diesel. Estas comparações são relativas às curvas para um mesmo percentual de mistura ao óleo diesel ou então para o biodiesel puro, similares às que são realizadas para todos os ensaios e análises dinamométricas de desempenho do motor.

Com base no apresentado pelas Figuras 5.13 a 5.20, para o torque e para a potência em percentuais de 25% de mistura de biodiesel de soja, mamona e dendê, pode-se constatar e concluir que ocorreram, em média, reduções nos parâmetros analisados em aproximadamente 2,7% e 1,8% para o biodiesel de soja e dendê, enquanto que para a mamona houve um acréscimo muito pequeno de 1,3%. Verifica-se que para este percentual de mistura de biodiesel não houve uma variação muito grande, se comparada ao padrão diesel inicial. Levando-se em consideração as incertezas combinadas do equipamento, que ficam em torno de 0,54% para o torque e aproximadamente 1,07% para potência, conclui-se que para esta mistura não há grandes alterações funcionais no motor em relação ao torque e à potência.

Para o caso de misturas de 50% de biodiesel, percebe-se um decréscimo desprezível nos parâmetros analisados em aproximadamente 3,5% para o biodiesel de soja e 5,7% para o biodiesel de dendê, com um imperceptível aumento para a mamona de 0,4%. Para esta mistura, conforme apresentam as Figuras 5.15 e 5.16, verifica-se que para rotações intermediárias ocorrem as variações mais acentuadas no torque e potência. Mais uma vez, ocorrido em praticamente todos os ensaios, o biodiesel de dendê em relação às outras misturas de biodiesel, apresenta os piores resultados, conforme apresentam as Figuras 5.15 e 5.16.

Nas misturas de 75% em percentual de biodiesel adicionado ao óleo diesel, houve em média uma queda de 4% para o biodiesel de soja, 9% para o biodiesel de dendê e um acréscimo de aproximadamente 2,6% para o biodiesel de mamona. Para este caso, observa-se que o biodiesel de mamona apresenta, a partir desta mistura, um aumento mais acentuado nos parâmetros avaliados e que tende a se apresentar bem mais evidente para a próxima mistura.

Em concentrações de 100% de biodiesel de soja, mamona e dendê, observou-se que para a soja e para o dendê ocorreram quedas de 3,2% e 9%, respectivamente, enquanto que para o biodiesel de mamona houve novamente um aumento de aproximadamente 3,3%.

Observando-se as Figuras 5.13 a 5.20, pode-se constatar que para o biodiesel de dendê ocorreram os piores resultados nas curvas e valores obtidos em dinamômetro, mesmo o biodiesel de dendê apresentando, conforme Tabelas A1, A2 e A3, suas propriedades muito similares às do biodiesel de soja, que não apresenta os resultados tão ruins quanto os do dendê.

Verifica-se também para o torque e para a potência, que para o biodiesel de mamona, conforme gráficos apresentados, ocorreram os melhores resultados específicos para os parâmetros analisados, pois o biodiesel de mamona apresenta, em relação às suas propriedades, uma diferença bem considerável em relação ao biodiesel de soja e dendê. Diferenças estas que ficam bem claras quando se observam os valores da viscosidade, densidade e números de cetanos. Conforme apresentado nas Tabelas A1, A2 e A3, a viscosidade do biodiesel de mamona, em média, chega a ser 3 vezes maior do que a viscosidade do biodiesel de soja ou dendê; para a densidade, o valor para biodiesel de mamona fica, em média, 10% maior em relação aos valores tabelados do biodiesel de soja e dendê; para o número de cetanos do biodiesel de mamona não é diferente: este diminui em mais de 20%, em média, relacionado aos valores do biodiesel de soja e dendê.

Cabe neste momento destacar que todas as afirmações referentes às propriedades dos combustíveis - óleo diesel e biodiesel de soja, mamona e dendê, também são aplicadas para outros parâmetros que são estudados neste capítulo, como consumo específico e índice de

fumaça. Acerca do que foi definido para o torque e para a potência, entende-se, em função de pesquisas realizadas em literaturas específicas, que o biodiesel possui propriedades similares às do óleo diesel, porém algumas destas, também estudadas por muitos autores como Santos, 2007 e Bueno, L., 2008, podem vir a alterar de alguma forma o funcionamento (avanços de ignição, injeção de combustível, potência, torque, consumo, níveis de poluentes, entre outros) e, principalmente, o tempo de vida útil em campo dos motores que operam com combustíveis especiais no ciclo Diesel.

Uma das fortes razões já discutidas neste capítulo refere-se à energia que o combustível necessita para transformar em trabalho líquido e de sua efetiva aplicação em motores de combustão interna.

Fatores de muita importância como o poder calorífico e energia, também possuem grande influência sobre desempenho que o combustível irá apresentar, quando colocado em aplicação direta em motores ciclo Diesel, pois conforme estudado em literatura especializada e observado nos ensaios, o aumento da concentração de biodiesel em misturas com óleo diesel, faz com que esta nova composição de combustíveis venha a apresentar-se com uma menor capacidade térmica de produção de energia, em virtude da redução que chega até os 15%, no poder calorífico da mistura, ocasionando redução de temperatura no interior da câmara de combustão do motor, reduzindo assim os níveis de energia obtida para a transformação mecânica e térmica. Essa redução de energia é diretamente proporcional à redução dos parâmetros de torque e potência no motor, fazendo com que o consumo específico aumente de forma proporcional, a fim de manter uma produção de energia próxima à produzida pelo óleo diesel.

Com relação às misturas propostas, verifica-se que para misturas de até 25% de biodiesel, os parâmetros avaliados tendem a ter resultados bons, similares aos apresentados para o óleo diesel. Para proposições de misturas acima de 50% de biodiesel, observam-se os piores resultados nos parâmetros torque, potência e no consumo específico de combustível, entretanto com excepcionais resultados para os níveis de fumaça.

Segundo estudos de alguns autores [Bueno, 2006; Bueno, L., 2008] em relação ao desempenho e resultados para o uso do biodiesel, similares aos apresentados pelo referido motor, permite-se chegar a um raciocínio específico e lógico sobre a aplicação do biodiesel como fonte combustível: a adaptação dos parâmetros construtivos dos motores às características do combustível que contém o biodiesel (soja, mamona ou dendê), permitiria explorar melhor as boas características do biodiesel como fonte de energia química, retirando assim excelentes resultados com relação à potência, torque, consumo específico e índice de fumaça.

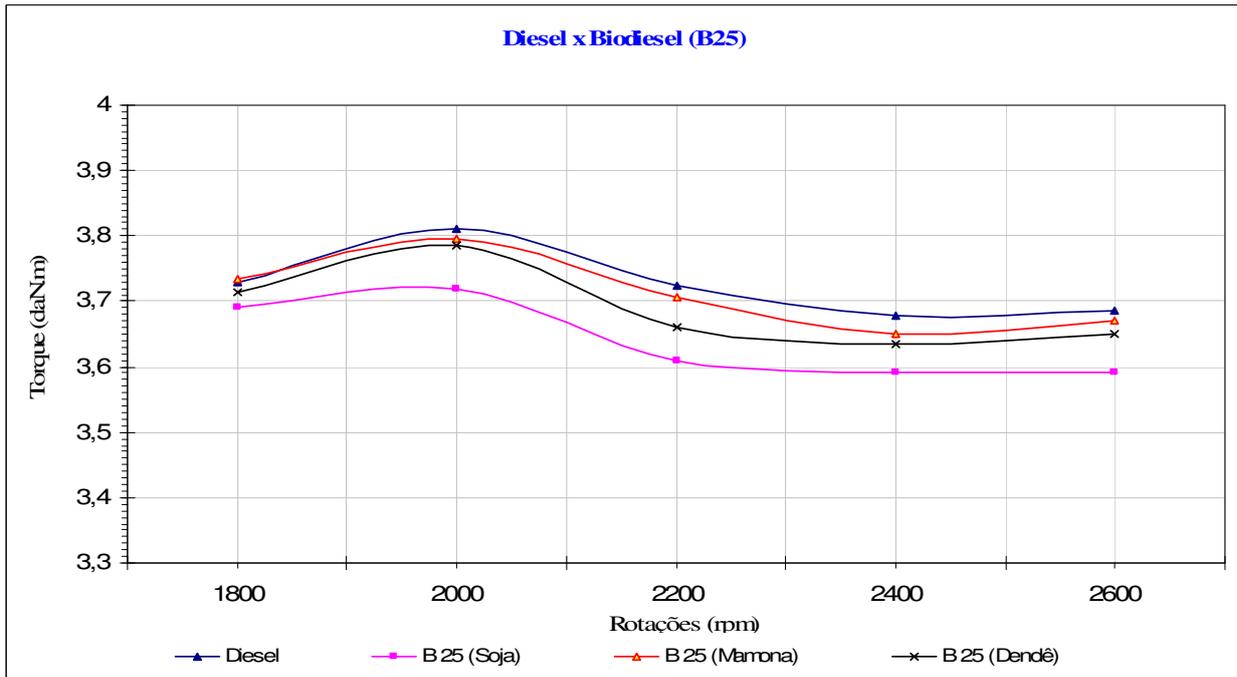


Figura 5.13 – Torque para Biodiesel (B25). Incerteza de medição máxima  $\pm 0,54\%$ .

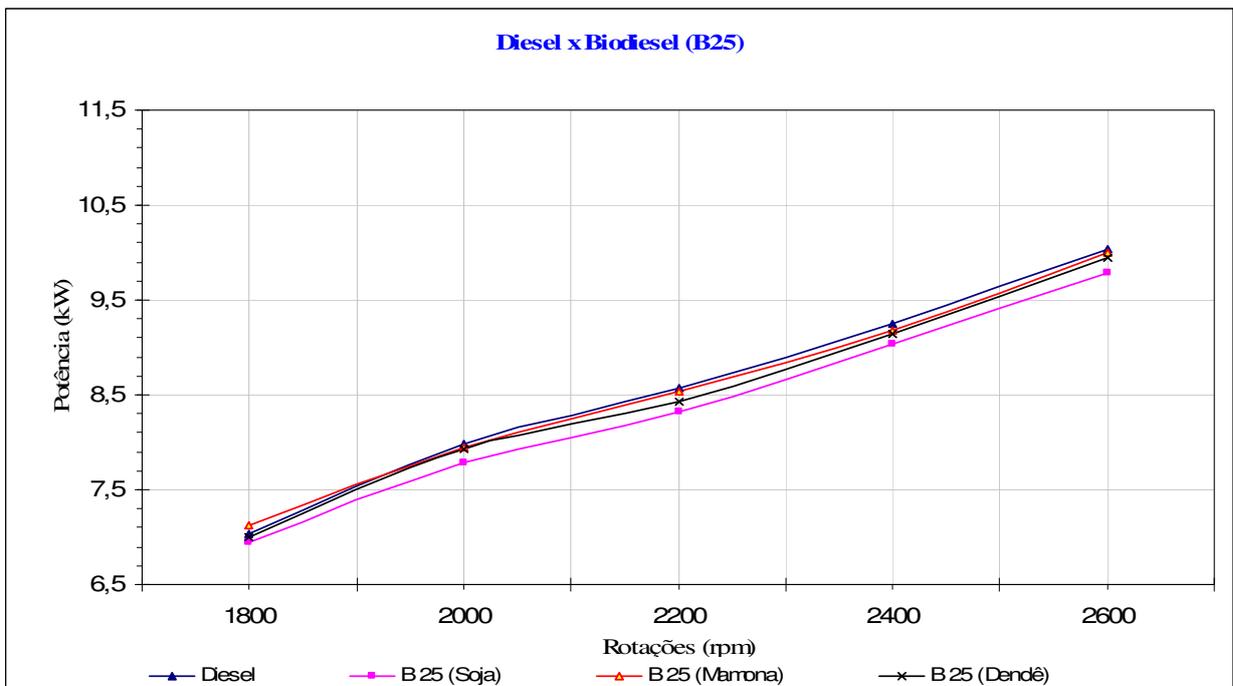


Figura 5.14 – Potência para Biodiesel (B25). Incerteza de medição máxima  $\pm 1,07\%$ .

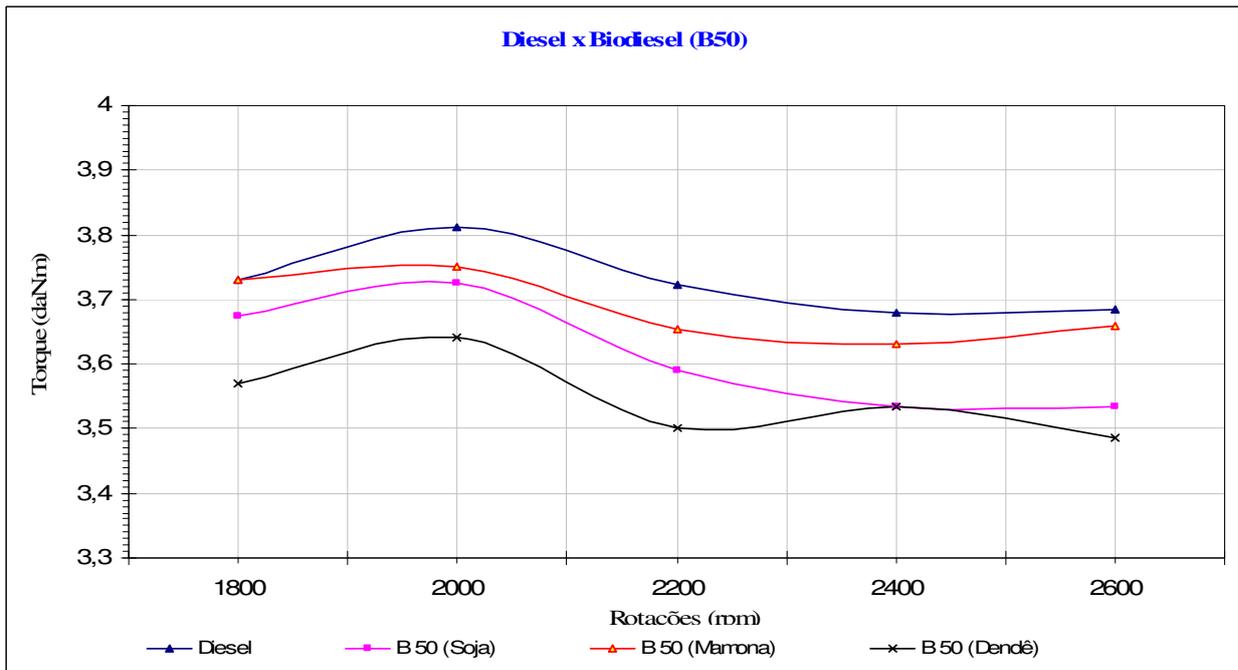


Figura 5.15 – Torque para Biodiesel (B50). Incerteza de medição máxima  $\pm 0,54\%$ .

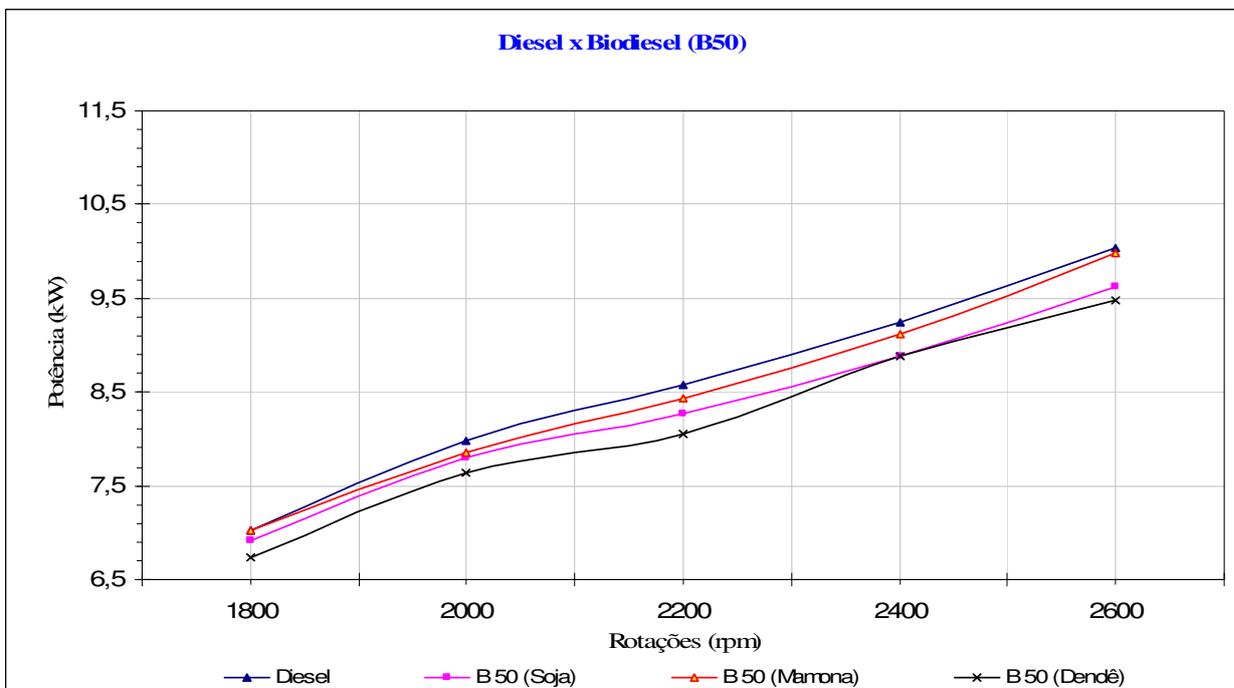


Figura 5.16 – Potência para Biodiesel (B50). Incerteza de medição máxima  $\pm 1,07\%$ .

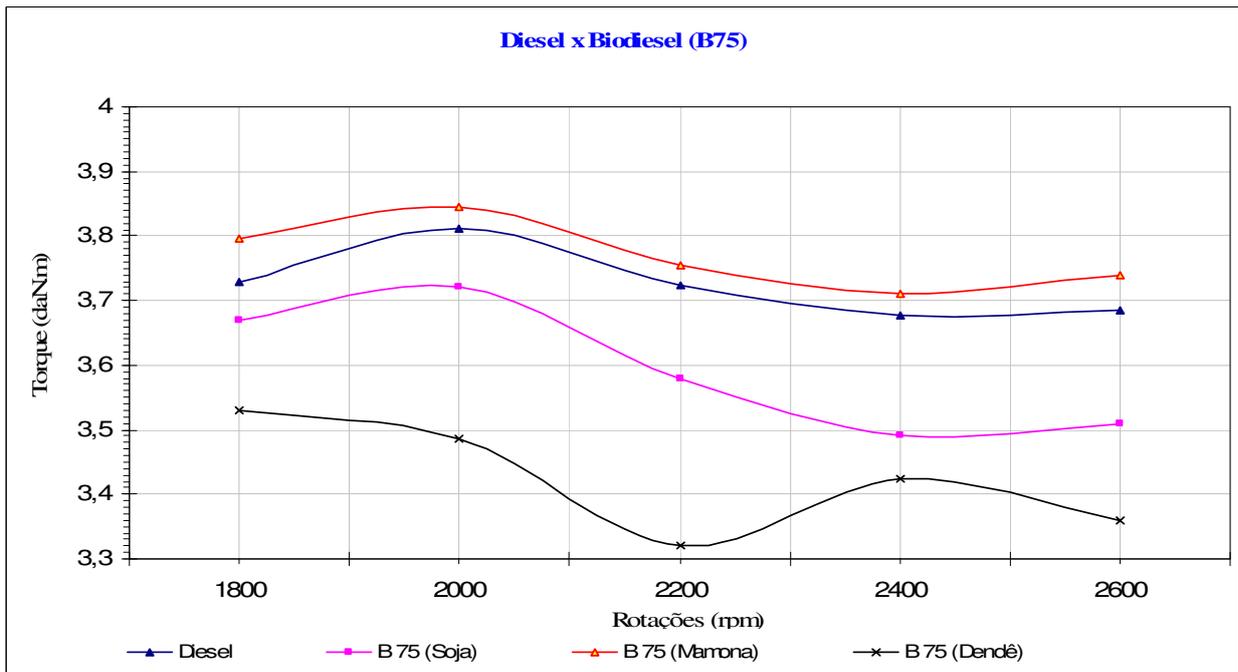


Figura 5.17 – Torque para Biodiesel (B75). Incerteza de medição máxima  $\pm 0,54\%$ .

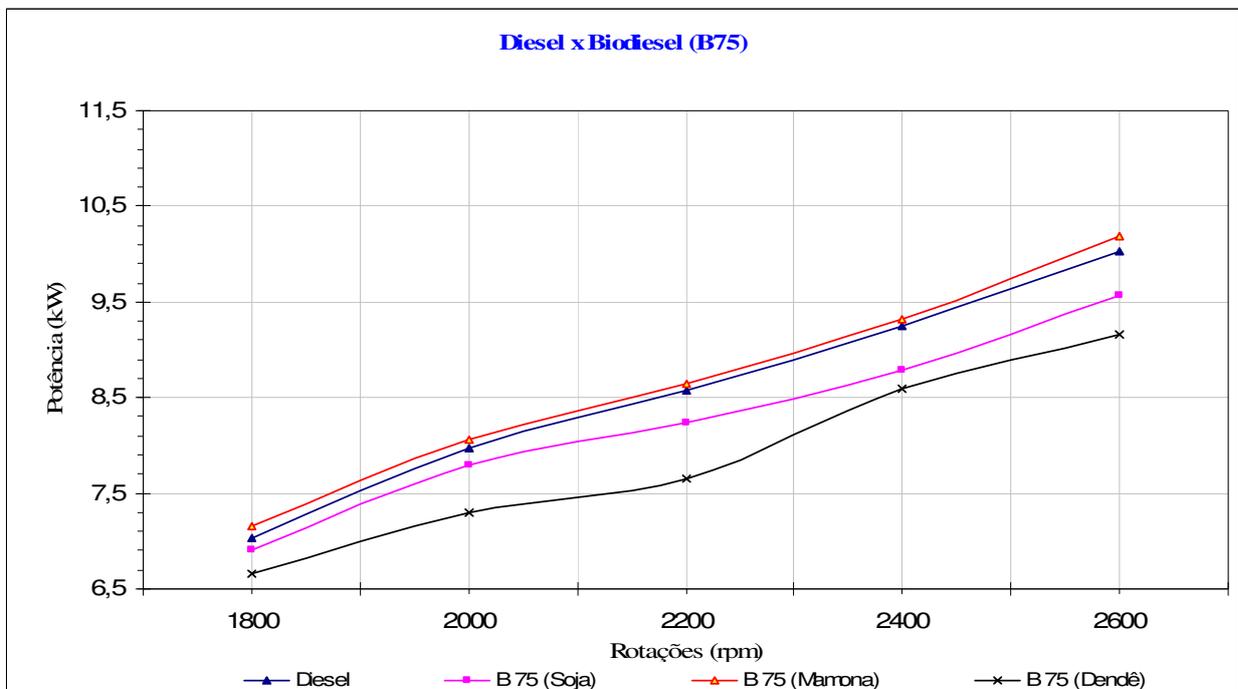


Figura 5.18 – Potência para Biodiesel (B75). Incerteza de medição máxima  $\pm 1,07\%$ .

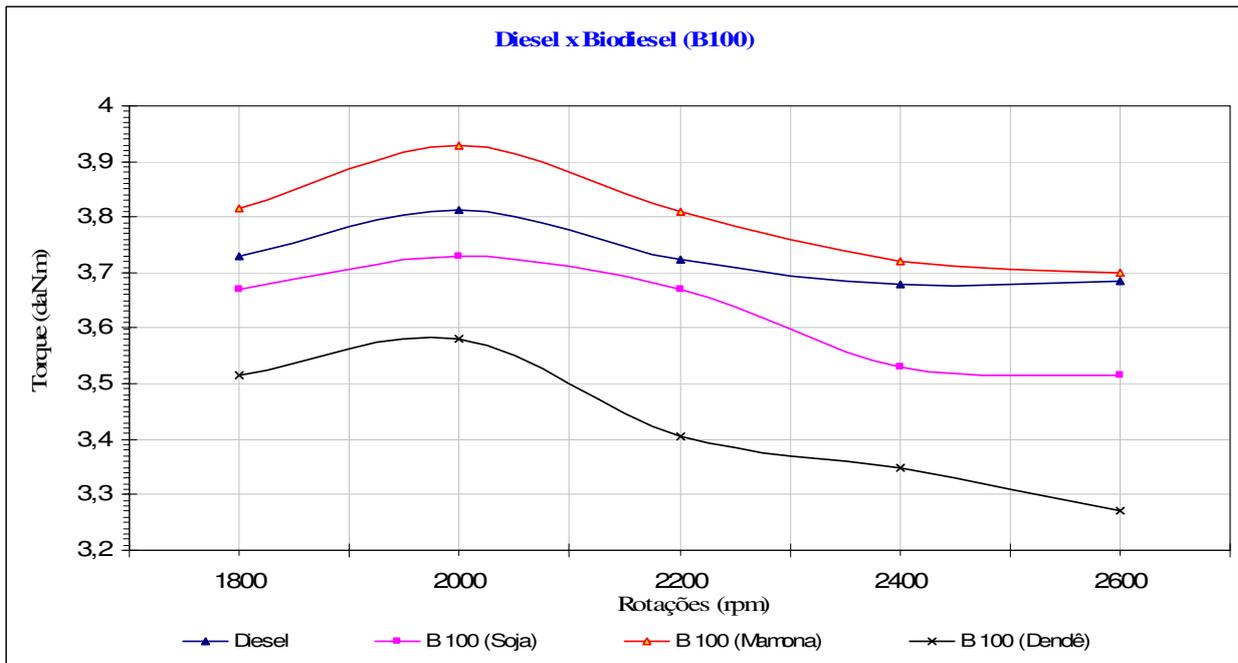


Figura 5.19 – Torque para Biodiesel (B100). Incerteza de medição máxima  $\pm 0,54\%$ .

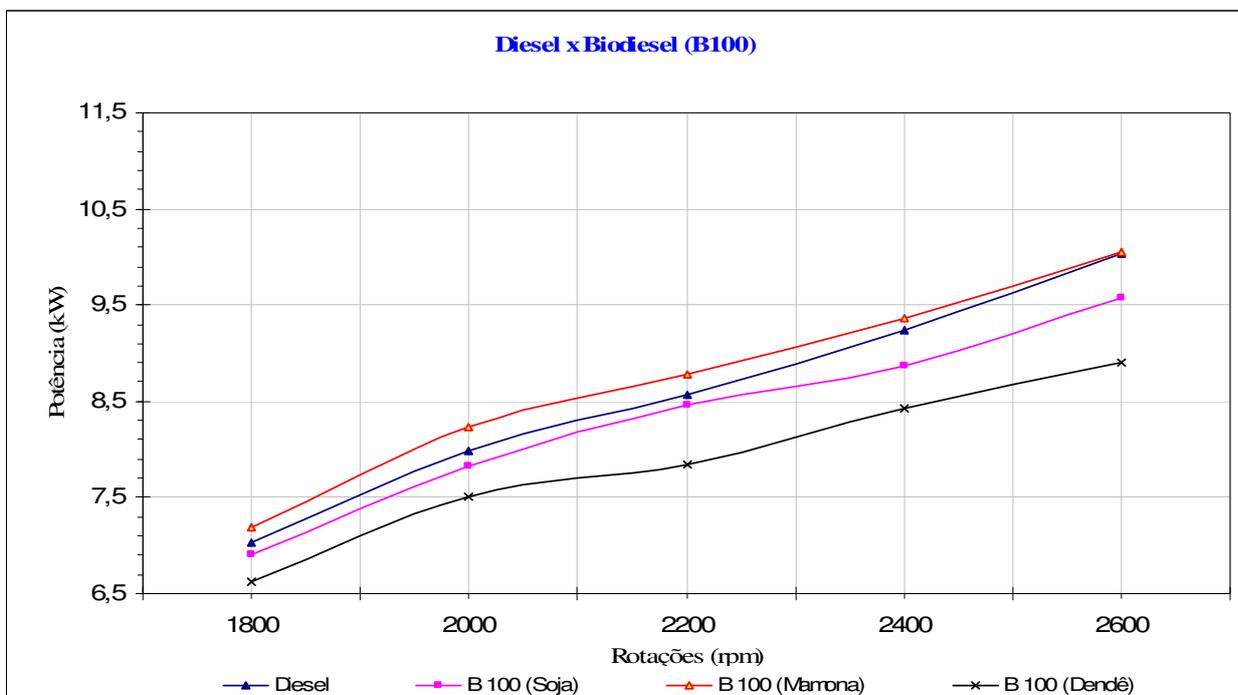


Figura 5.20 – Potência para Biodiesel (B100). Incerteza de medição máxima  $\pm 1,07\%$ .

## 5.4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS – CONSUMO ESPECÍFICO

As curvas das Figuras 5.21 a 5.24 representam, respectivamente, as variações em 25%, 50%, 75% e 100% de biodiesel de soja, mamona e dendê, relativo ao consumo específico.

Conforme apresentado anteriormente para o torque e potência, constata-se que o desempenho do motor tende a se reduzir quando opera com misturas mais acentuadas de biodiesel, ou quando opera com o biodiesel puro, sempre considerado em relação ao óleo diesel padrão de referência (diesel inicial).

Observa-se então que enquanto torque e a potência tendem a diminuir com o acréscimo do percentual de mistura de biodiesel ao óleo diesel, seu consumo específico também aumenta na mesma proporção, conforme demonstrado nas Figuras 5.21 a 5.24. Convém ressaltar que as propriedades, também para este caso, podem vir a afetar muito o desempenho e, por consequência, o consumo de combustível para o motor ensaiado em bancada dinamométrica.

Avaliando-se as curvas e valores apresentados pelas Figuras 5.21 a 5.24, para os percentuais de 25% de mistura de biodiesel de soja, mamona e dendê, pode-se constatar que ocorreu, em média, um aumento considerável no consumo específico em aproximadamente 4,7%, 4,4% e 2,6%, respectivamente, para o biodiesel de soja, mamona e dendê. Analisa-se então, para este percentual de 25% de mistura de biodiesel, que não houve uma variação (um aumento) muito grande, se comparada ao padrão diesel inicial.

Para misturas de 50% de biodiesel, percebe-se um acréscimo de aproximadamente 6,4% para o biodiesel de soja, 6,4% para o biodiesel de mamona e 4,7% para o biodiesel de dendê. Para estas misturas, conforme apresenta a Figura 5.22, verifica-se que em praticamente todos os ensaios, o biodiesel de mamona, em relação a outras misturas de biodiesel, apresenta os piores resultados, também constatados para as misturas de 75 % e 100 %.

No caso das misturas de 75% em percentual de biodiesel adicionado ao óleo diesel, houve em média um acréscimo de 7,9% para o biodiesel de soja, 5,6% para o biodiesel de dendê e um acréscimo relativamente elevado de aproximadamente 8,5% para o biodiesel de mamona. Para este caso, observa-se que o biodiesel de mamona apresenta, a partir desta mistura, um aumento considerável no consumo específico, que tende a aumentar ainda mais para o percentual de 100% de biodiesel de mamona.

Ao final, analisando-se as misturas de 100% de biodiesel de soja, mamona e dendê, observou-se que para a soja e para o dendê ocorreram aumentos razoáveis no consumo,

aproximadamente 11,2% e 10,3% respectivamente, enquanto que para o biodiesel de mamona houve novamente um aumento, muito expressivo, de aproximadamente 13,8%.

Observando-se as Figuras 5.21 a 5.24, conclui-se que para o biodiesel de mamona, ocorreram os piores resultados nas curvas e valores obtidos em dinamômetro para o parâmetro consumo específico de combustível, levando-se em consideração a incerteza máxima  $\pm 5\%$ .

É importante observar que para 100% de biodiesel de mamona, conforme descrevem as curvas e valores da Figura 5.24, ocorreu um aumento bem superior em relação aos outros dois tipos de combustíveis avaliados (biodiesel de soja e dendê). Este valor se estabiliza em aproximadamente 4%, um valor considerável, visto que o aumento total é de 13,8%, em relação ao diesel inicial. Cabe ressaltar que os aumentos médios para adições de biodiesel ao óleo diesel giram em torno de 5 a 15%, desconsiderando a origem do combustível biodiesel.

Avalia-se também que o biodiesel de mamona, conforme apresentam as Tabelas A1, A2 e A3 dos anexos deste trabalho, apresenta, em relação às suas propriedades, um diferencial de valores bem considerável em relação ao biodiesel de soja e dendê. Estas diferenças ficam bem claras quando se observam, principalmente, os valores da viscosidade e densidade.

Como a viscosidade do biodiesel de mamona, em média, chega a ser três vezes maior do que a viscosidade do biodiesel de soja ou dendê, e sua densidade fica, em média, 10% maior em relação aos valores tabelados do biodiesel de soja e dendê, conclui-se que os grandes acréscimos nos valores de consumo específico, para as aplicações principalmente do biodiesel de mamona, se deve em grande parte ao fato do sistema de alimentação do motor aumentar o volume de combustível injetado no sistema motriz, a fim de manter a potência e o torque próximos ou superiores em relação ao óleo diesel, compensando desta forma o ganho conquistado para potência e torque, causando, contudo, excesso no consumo de combustível, conforme apresentado pelas Figuras 5.21 a 5.24.

O poder calorífico de cada um dos combustíveis ensaiados também possui enorme influência no que tange análises do consumo específico, pois conforme valores apresentados pelas Tabelas A1, A2 e A3 dos anexos e descrito anteriormente para a discussão dos parâmetros torque e potência, verifica-se que existem grandes diferenças nesta propriedade, gerando uma variação muito grande de consumo em relação ao óleo diesel de referência, em virtude de compensação no sistema para obtenção de desempenho térmico e mecânico. Tanto quanto para o torque e potência, em mistura de até 25% de biodiesel ao óleo diesel (tipo B), não se percebem modificações funcionais nos ensaios de desempenho; porém, para percentuais acima de 50% as diferenças aparecem bem mais acentuadas, gerando consumo elevado nas misturas de biodiesel.

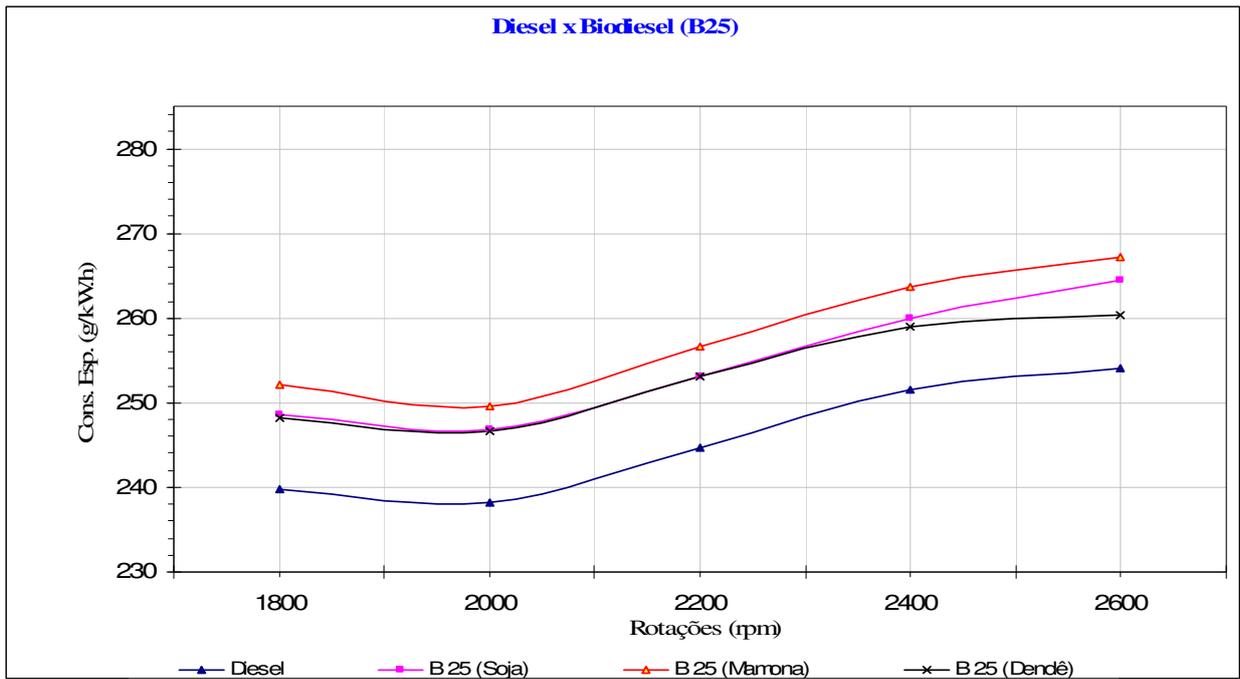


Figura 5.21 – Consumo específico para Biodiesel (B25). Incerteza de medição máxima  $\pm 5\%$ .

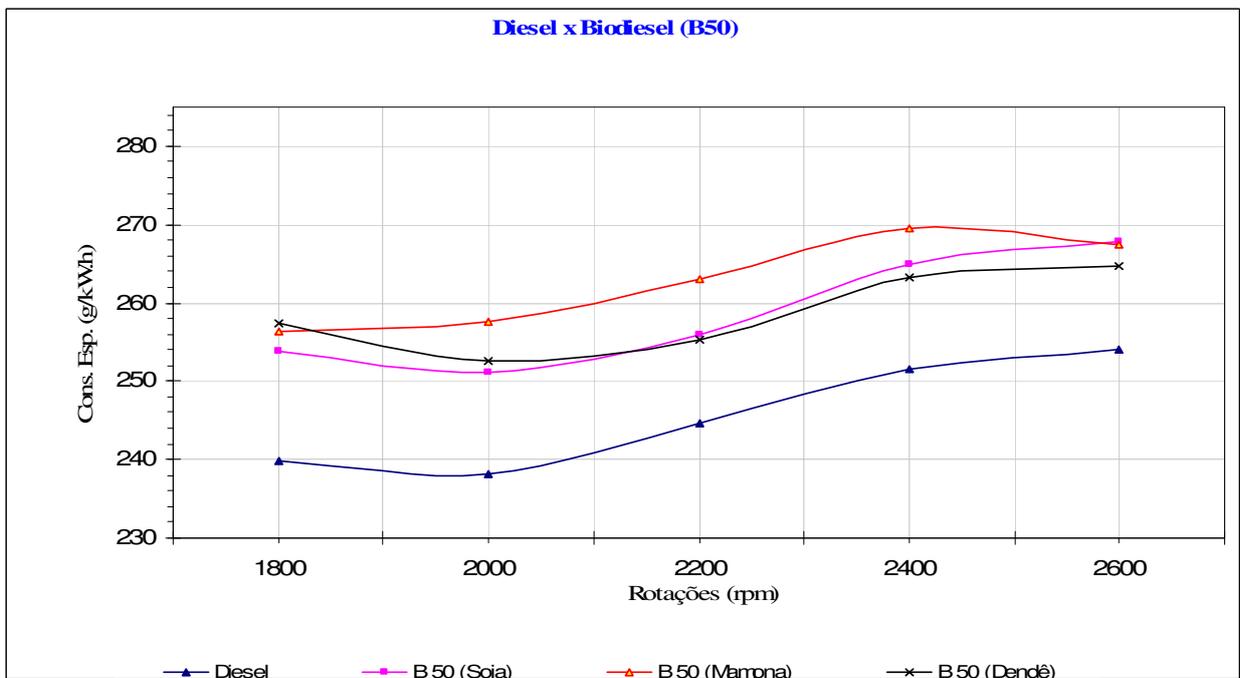


Figura 5.22 – Consumo específico para Biodiesel (B50). Incerteza de medição máxima  $\pm 5\%$ .

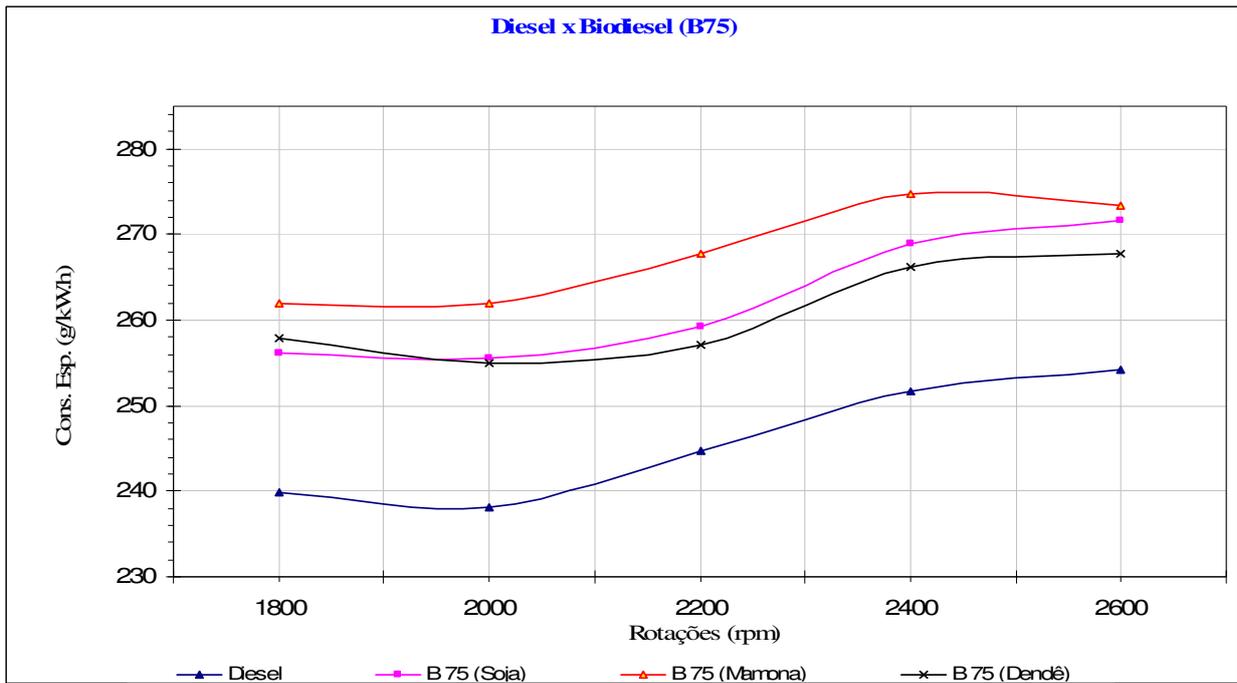


Figura 5.23 – Consumo específico para Biodiesel (B75). Incerteza de medição máxima  $\pm 5\%$ .

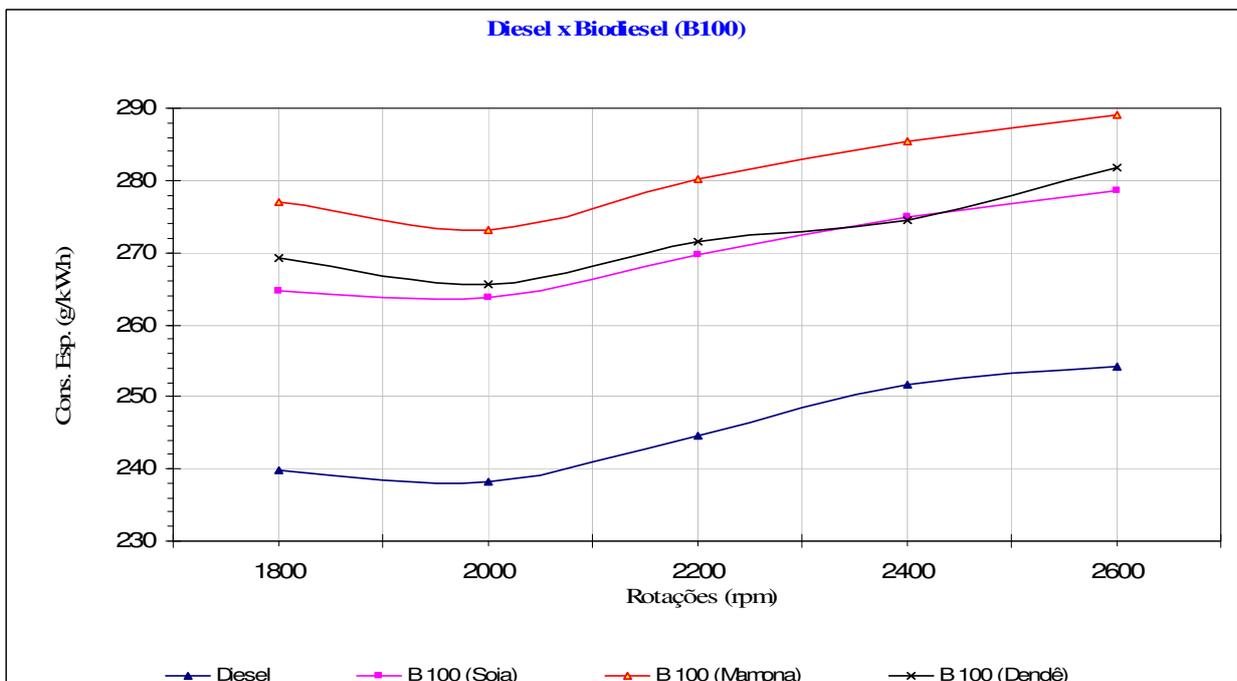


Figura 5.24 – Consumo específico para Biodiesel (B100). Incerteza de medição máxima  $\pm 5\%$ .

### 5.4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS – ÍNDICE DE FUMAÇA

Apresentam-se nas curvas das Figuras 5.25 a 5.28, respectivamente, as variações em 25%, 50%, 75% e 100% de biodiesel de soja, mamona e dendê, relativo ao índice de fumaça. Da mesma forma que ocorre para os parâmetros potência e torque, que tendem a diminuir com o acréscimo do percentual de mistura de biodiesel ao óleo diesel, os níveis de fumaça também diminuem em uma mesma proporção, conforme demonstrado nas Figuras 5.25 a 5.28. Convém destacar que as propriedades, também para este caso, podem vir a afetar muito o desempenho e, por consequência, os níveis de poluentes emitidos pelo motor ensaiado.

Analisando-se as curvas apresentadas pela Figura 5.25 para os percentuais de 25% de mistura de biodiesel de soja, mamona e dendê, pode-se constatar que ocorreu, em média, uma queda considerável no índice de fumaça emitido pelas misturas em aproximadamente 14%, 18,9% e 13,8% respectivamente para o biodiesel de soja, mamona e dendê. Analisa-se então, para este percentual de 25% de mistura de biodiesel, que houve um decréscimo considerável e que tende a se estender para outras misturas de biodiesel.

Para misturas de 50% de biodiesel, percebe-se claramente redução nas emissões (índice de fumaça), em aproximadamente 25,2% para o biodiesel de soja, 29,8% para o biodiesel de mamona e 29,3% para o biodiesel de dendê.

Para as misturas de 25 e 50% de biodiesel, conforme apresentam as Figuras 5.25 e 5.26, verifica-se que em praticamente todos os ensaios o biodiesel de mamona, em relação a outras misturas de biodiesel de soja e dendê, apresenta os melhores resultados, porém não verificados claramente para as misturas de 75% e 100%.

Nas misturas de 75% em percentual de biodiesel adicionado ao óleo diesel, houve em média uma redução de aproximadamente 37,3% para o biodiesel de soja, 43,9% para o biodiesel de dendê e uma queda relativamente elevada de aproximadamente 41,2% para o biodiesel de mamona.

Para o caso de 100% de pureza de biodiesel de soja, mamona e dendê, percebe-se que para a soja e para o dendê ocorreram reduções mais significativas no índice de fumaça emitido pelo motor ensaiado - valores de 39,7% e 50%, respectivamente - enquanto que para o biodiesel de mamona houve novamente uma redução, também muito expressiva, de aproximadamente 35%, sempre em relação ao combustível padrão diesel inicial. Observando-se as Figuras 5.25 a 5.28, conclui-se que para o biodiesel de mamona, em média, ocorreram os melhores resultados evidenciados pelas curvas e valores obtidos em bancada dinamométrica.

Mesmo para o biodiesel de mamona que apresenta rendimentos superiores nas aplicações em motores de combustão interna ciclo Diesel, porém com resultados não muito bons no parâmetro consumo específico, pode-se dizer que o combustível de mamona se destaca perante as outras amostras de oleaginosas ensaiadas, pois no quesito índice de fumaça o combustível de mamona também se apresentou com resultados excelentes.

É importante observar que para o percentual de 100% de biodiesel, apresentado na Figura 5.28, o combustível biodiesel de dendê apresentou o melhor resultado de todos os ensaios dinamométricos, em relação ao índice de fumaça. Este número gira em torno de 50% de redução nas emissões de fumaça, um valor considerável, correspondendo a uma queda pela metade do valor relativo às emissões do óleo diesel, considerando-se uma incerteza máxima de  $\pm 2\%$ .

Esta acentuada redução nas emissões de fumaça, determinada pela aplicação de biodiesel no motor, demonstra que este combustível está de acordo com as principais e atuais regulamentações de redução de poluentes na atmosfera, porém nunca é demais lembrar que, conforme observado anteriormente para o consumo específico, para misturas superiores a 50% de biodiesel, houve aumentos significativos de consumo, o que pode levar a um novo estudo científico, uma relação entre a redução de emissões com o aumento de consumo, mantendo-se estáveis os parâmetros de torque e potência. Seria a aplicação do combustível alternativo biodiesel uma aplicação ecológica? É preciso ter sempre em mente que os níveis de poluição são muito menores, porém o consumo é inversamente proporcional em percentuais acima de 25%.

É importante destacar que, além de todos os aspectos até então analisados com relação às propriedades dos biocombustíveis e suas influências nos processos de combustão e desempenho, normalmente a adição de biodiesel ao óleo diesel melhora a eficiência da combustão pelo aumento do número de cetanos, o que reduz significativamente os níveis de fumaça emitidos durante o processo de combustão interna nos motores. Portanto, quanto mais biodiesel se adiciona ao óleo diesel, com relação ao parâmetro índice de fumaça, melhor é o desempenho do motor no quesito emissões de fumaça. Com relação às propriedades do biodiesel e suas influências no funcionamento e durabilidade dos motores, tem-se que frisar que a viscosidade muito elevada (mamona por exemplo) de algumas oleaginosas, pode vir a provocar sérios problemas nos motores de combustão interna, pois formam depósitos de carbono, por uma combustão incompleta, e diminuição na eficiência de lubrificação do óleo, pela ocorrência da polimerização e a atomização insuficiente dos sistemas de injeção de combustível (bicos injetores), com a alteração da curva hidráulica da bomba injetora, influenciando diretamente parâmetros como a potência e o torque nos motores ciclo Diesel.

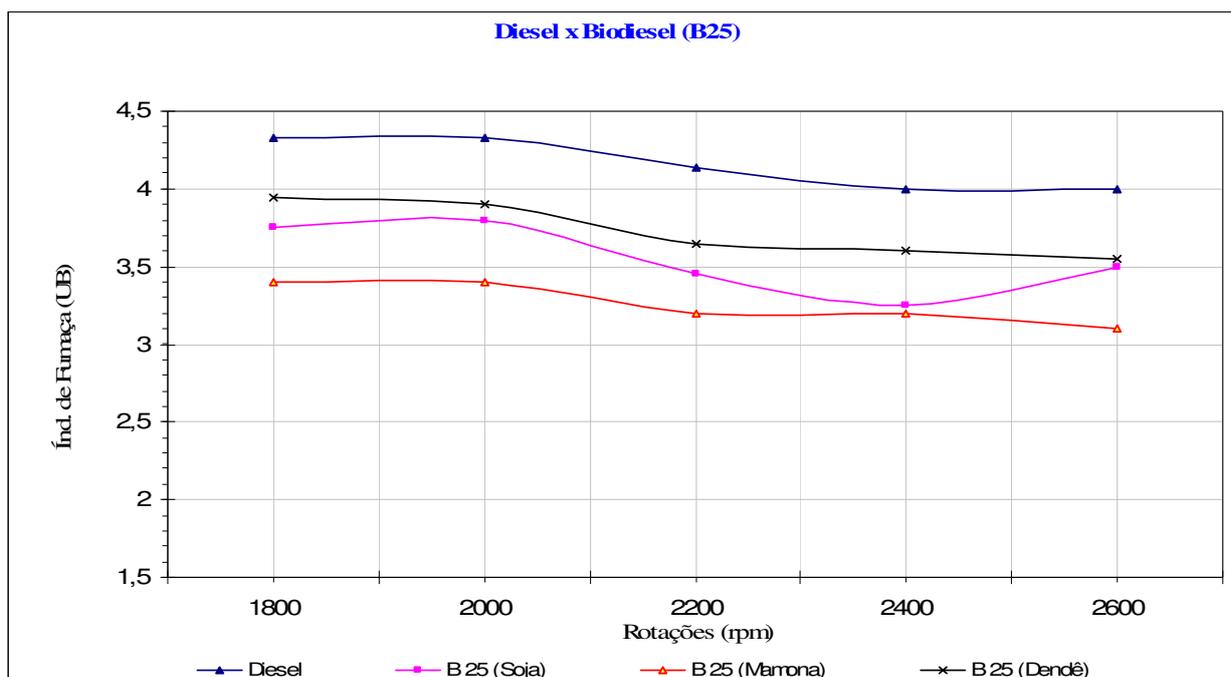


Figura 5.25 – Índice de fumaça para Biodiesel (B25). Incerteza de medição máxima  $\pm 2\%$ .

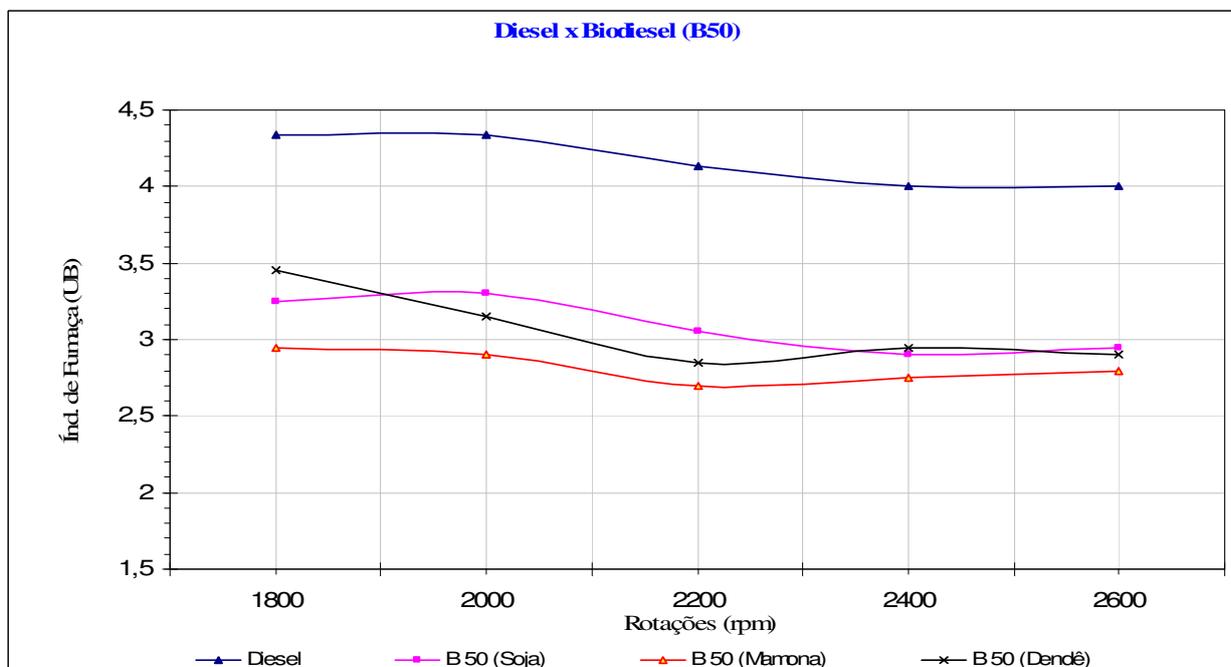


Figura 5.26 – Índice de fumaça para Biodiesel (B50). Incerteza de medição máxima  $\pm 2\%$ .

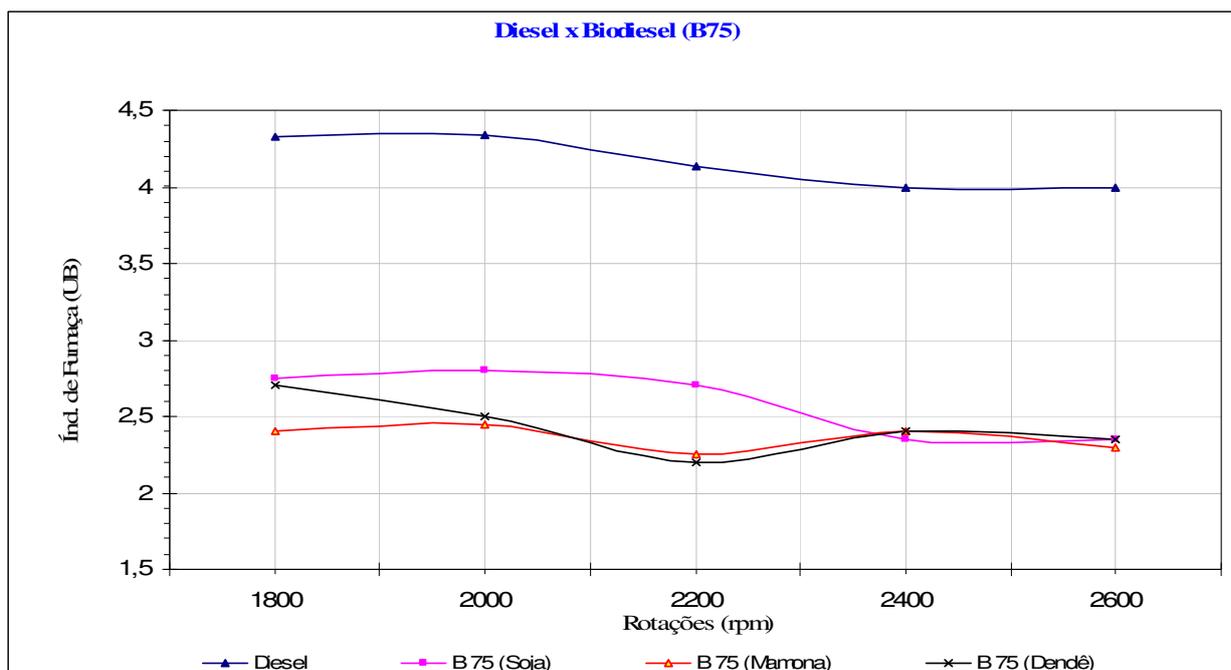


Figura 5.27 – Índice de fumaça para Biodiesel (B75). Incerteza de medição máxima  $\pm 2\%$ .

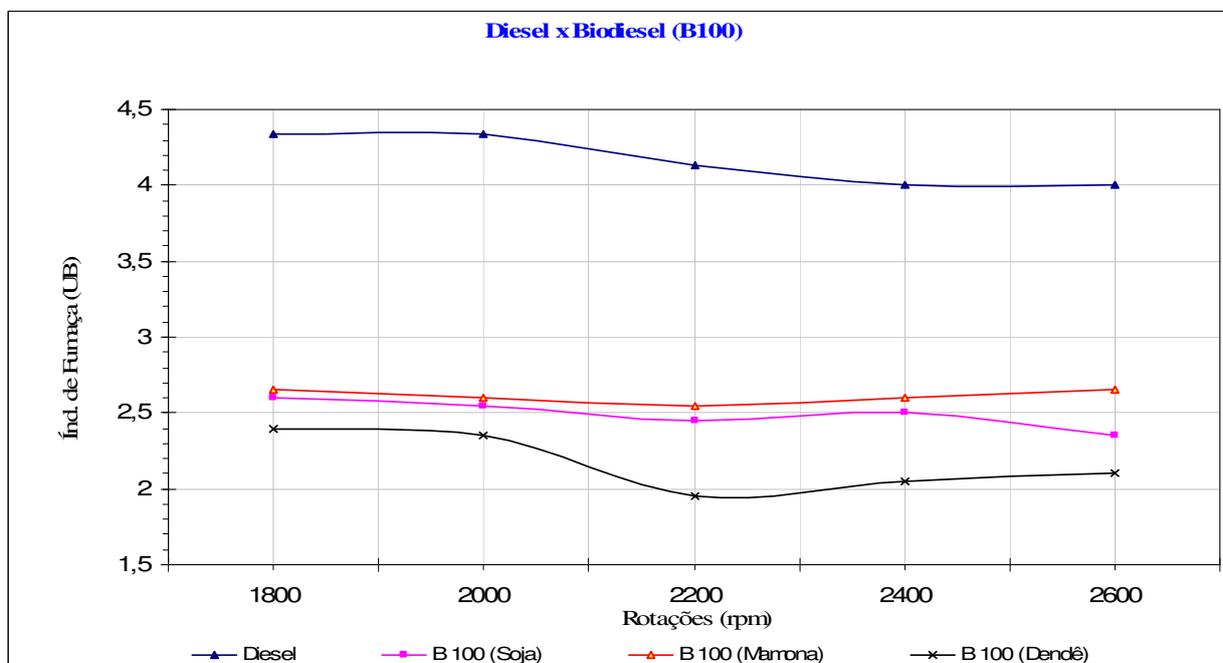


Figura 5.28 – Índice de fumaça para Biodiesel (B100). Incerteza de medição máxima  $\pm 2\%$ .

Para uma análise mais detalhada do ambiente dos ensaios dinamométricos, realizados e apresentados nas figuras do Capítulo 5 e nas Tabelas A8 a A19 dos anexos, pode-se verificar para o biodiesel de soja, mamona e dendê as seguintes médias nas variações percentuais, conforme apresentados na Tabela 5.1. A referida tabela mostra, de forma simples e clara, uma relação entre o óleo diesel padrão e o biodiesel de soja, mamona e dendê, seus desempenhos e valores médios calculados.

Da forma como se apresenta a tabela, fica muito fácil avaliar todos os fatores trabalhados nos ensaios em laboratório, porém estes valores são oriundos de médias diretas entre os valores obtidos de biodiesel para cada uma das misturas em todas as faixas determinadas de rotações, em relação ao valor direto para o óleo diesel inicial tipo B (padrão de referência) para cada uma das respectivas concentrações de misturas.

Tabela 5.1 – Análises gerais de desempenho (óleo diesel X Biodiesel)

Diesel X Biodiesel (Tipo e Concentração)		Torque - Potência	Consumo Específico	Índice de Fumaça
SOJA	B 25	- 2,7%	4,7%	- 14%
	B 50	- 3,5%	6,4%	- 25,2%
	B75	- 4%	7,9%	- 37,3%
	B 100	- 3,2%	11,2%	- 39,7%
MAMONA	B 25	1,3%	4,4%	- 18,9%
	B 50	0,4%	6,4%	- 29,8%
	B75	2,6%	8,5%	- 41,2%
	B 100	3,3%	13,8%	- 35%
DENDÊ	B 25	- 1,8%	2,6%	- 13,8%
	B 50	- 5,7%	4,7%	- 29,3%
	B75	- 9%	5,6%	- 43,9%
	B 100	- 9%	10,3%	-50%

## 6. CONCLUSÃO

O estudo apresentado neste trabalho relaciona-se a ensaios e determinação de dados referentes à aplicação de biocombustível, em especial biodiesel, aplicados a motores de combustão interna ciclo Diesel, com a finalidade de se reduzir principalmente emissões de fumaça ao meio ambiente, mantendo-se inalteráveis seus parâmetros de funcionamento quando operando com óleo diesel. Com a avaliação dos ensaios dinamométricos realizados no motor M93 ID, constatou-se quantitativamente, através dos dados apresentados no Capítulo 5 e nos anexos deste trabalho, que ocorreram reduções pouco significativas nos parâmetros potência e torque, um acréscimo razoável no consumo específico de combustível e uma acentuada redução nos percentuais do índice de fumaça.

Conforme alguns pesquisadores como Branco, 2005; Bueno, 2006 e Santos, 2007, que tratam de assuntos referentes à aplicação de biodiesel na Matriz Energética Nacional e principalmente de temas envoltos nas emissões de gases nocivos, percebe-se que a aplicação de biodiesel é uma forte alternativa nacional e mundial para redução das emissões de fumaça, por parte destes equipamentos (motores) movidos hoje a óleo diesel.

A aplicação destes combustíveis de fontes biológicas em larga escala no Brasil, iniciado em 1980 com o *PRODIESEL*, representa, segundo alguns autores, um grande potencial devido à ampla variedade de culturas para o fornecimento de óleos vegetais, sendo que o Brasil também possui longa tradição na produção de etanol, que é um componente químico muito importante para a produção do biodiesel. Diferentes alternativas têm sido consideradas para a produção do biodiesel, conforme apresentado no Capítulo 3, porém a transesterificação com metanol tem se destacado um pouco mais entre os produtores de diversos países, principalmente pelo elevado rendimento do processo e a grande facilidade de separação da glicerina por decantação, sempre em relação ao uso do etanol. Embora o biodiesel se apresente, em geral, com características muito próximas às do óleo diesel, existem algumas propriedades típicas de determinadas oleaginosas que podem vir a criar algumas barreiras técnicas e operacionais para a aplicação em motores de combustão interna ciclo Diesel. Um exemplo bem típico desta situação está relacionado com a viscosidade do biodiesel de mamona, que chega a ser até 3 vezes maior do que a viscosidade do óleo diesel, influenciando muito em sua aplicação em motores de combustão interna. A introdução de biodiesel de soja, mamona ou dendê ao óleo diesel, conforme apresentado no Capítulo 5, visivelmente promove certas alterações, principalmente nos

parâmetros potência, torque, consumo específico e índice de fumaça. Na maioria dos ensaios se verifica a redução da potência e do torque, com o aumento em percentual da mistura de biodiesel, e o aumento proporcional do consumo específico em função principalmente de seu menor poder calorífico, produzindo assim menor quantidade de energia em função do volume de combustível injetado, conforme apresentado detalhadamente nas discussões do Capítulo 5.4. De uma forma bem simples, observando-se a Tabela 5.1, apresentada anteriormente, podemos concluir que a perda de torque e, conseqüentemente, de potência e o aumento do consumo específico, conforme também enfatizado no Capítulo 5, ocorre devido a diferenças que existem entre as propriedades do biodiesel em relação ao óleo diesel, como a viscosidade e poder calorífico.

Os ensaios também indicaram que o uso do biodiesel em faixas de potência e rotações intermediárias aos limites operacionais do motor não produz significativas alterações no regime normal de trabalho do motor; há, todavia, uma tendência à instabilidade do motor operando em faixas próximas aos limites mínimos e máximos, fazendo com que certos componentes tenham um comportamento distante do descrito em projeto, fato observado nas curvas de torque e potência que se demonstraram fora do padrão normal de comportamento.

A aplicação do biodiesel, segundo alguns autores, de uma forma geral, requer uma avaliação de três importantes parâmetros, a saber: a eficiência do processo de combustão, a durabilidade do motor e seus componentes e as emissões de particulados e fumaça. A diminuição da durabilidade do motor, degradação de componentes, aumento de manutenções técnicas, formação de depósitos de carvão por precipitação e corrosão das partes internas estão relacionadas diretamente com o tipo de combustível biodiesel utilizado nos motores.

Conclui-se então, através dos estudos realizados, a total viabilidade operacional do uso de biodiesel, e que o ganho com seu uso tem grandes perspectivas. O aperfeiçoamento dos projetos de motores, bem como o avanço físico-químico aplicado às propriedades do combustível biodiesel, pode elevar ainda mais os ganhos com o uso do mesmo como um combustível renovável de fonte biológica.

Sugestões para novas pesquisas, nas áreas de aplicação de combustíveis alternativos e motores de combustão interna ciclo Diesel, seriam análises e implementações de alterações nos projetos ou nos componentes físicos dos motores, como modificações em cabeçotes e geometrias de válvulas, cilindros, êmbolos, alterações em pontos de ignição, modificações em geometria das câmaras de combustão, buscando agora maior eficiência para os parâmetros torque e potência, com reduções expressivas no consumo e emissões de gases e fumaça.

Outras sugestões para novos trabalhos referem-se à avaliação da influência do aquecimento das misturas de combustíveis, aumentos de pressão com mudanças de pontos de injeção de combustível, ensaios de durabilidade com análise de componentes quanto ao desgaste e análise numéricas relativa à formação do spray associada aos fenômenos de turbulência e transmissão de calor no cilindro para os novos combustíveis.

Também se sugere novos estudos com relação à avaliação do custo-benefício da aplicação do biodiesel em cada região do país. Isso seria muito interessante, se avaliar o quanto a relação dos parâmetros torque e potência podem influenciar no consumo, diretamente envolvido no custo de aplicação do biodiesel em campo, para cada distinta região do país.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. “ABNT NBR ISO/IEC”. “Literatura Técnica, Resoluções, Portarias e Normas Técnicas Específicas”. Disponível na Internet no site: <http://www.abnt.org.br> (Acessado em 2007 e 2008).

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5462, 1981. “Confiabilidade – Terminologia”. Rio de Janeiro, RJ.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 3046/1, 1995. “Motores de Combustão Interna Alternativos – Desempenho – Parte 1: Condições – Padrão de Referência e Declarações de Potência e de Consumos e Óleo Lubrificante”. Rio de Janeiro, RJ.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 1585, 1986. “Veículos Rodoviários - Código de Ensaio de Motores - Potência Líquida Efetiva”. Rio de Janeiro, RJ.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6396, 1976. “Motores Alternativos de Combustão Interna, não Veiculares”. Rio de Janeiro, RJ.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. “Literatura Técnica, Resoluções, Portarias e Normas Técnicas Específicas”. Disponível na Internet no site: <http://www.anp.gov.br>. (Acessado em 2007 e 2008). “Dados Técnicos, Estatísticos e Tecnológicos”. Internet: [http://www.anp.gov.br/petro/dados\\_estatisticos.asp](http://www.anp.gov.br/petro/dados_estatisticos.asp). (Acessado em 2007 e 2008).

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2006. Resolução ANP Nº 15 de 17 de julho de 2006. “Estabelece as especificações de óleo diesel e mistura óleo diesel / biodiesel – B2 de uso rodoviário, para comercialização em todo o território nacional, e define obrigações dos agentes econômicos sobre o controle da qualidade do produto”. Obs: A Resolução ANP Nº 15 de 17.07.2006, revoga a ANP Nº 310 de 27.12.2001. Diário Oficial da União ou disponível na Internet no site: <http://www.anp.gov.br>. (Acessado em 2008), Brasil.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2001. Resolução ANP Nº 310 de 27 de Dezembro de 2001. (DOU 28.12.2001). “Estabelece as especificações do óleo diesel automotivo destinado ao consumidor final, comercializado pelos diversos agentes econômicos em todo o território nacional, consoante as disposições contidas no Regulamento Técnico ANP Nº 6 de 2001, parte integrante da mesma Portaria”. Diário Oficial da União ou disponível na Internet no site: <http://www.anp.gov.br>. (Acessado em 2008), Brasil.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2008. Resolução ANP Nº 07 de 19 de março de 2008. “Estabelece as especificações de óleo diesel e mistura óleo diesel / biodiesel – B2 de uso rodoviário, para comercialização em todo o território nacional, e define obrigações dos agentes econômicos sobre o controle da qualidade do produto”. Diário Oficial da União ou disponível na Internet no site: <http://www.anp.gov.br>. (Acessado em 2008), Brasil.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2004. Resolução ANP Nº 42 de 24 de novembro de 2004. “Estabelece a especificação de biodiesel, consoante as disposições contidas no Regulamento Técnico nº 4/2004, parte integrante desta mesma Resolução, que poderá ser adicionado ao óleo diesel em proporção de 2% (B2) em volume, comercializado pelos diversos agentes econômicos autorizados em todo o território nacional”. Diário Oficial da União ou disponível na Internet no site: <http://www.anp.gov.br>. (Acessado em 2008), Brasil.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2003. Resolução ANP Nº 255 de 15 de setembro de 2003. “Estabelece a especificação do biodiesel puro a ser adicionado ao óleo diesel para testes em frotas cativas ou para uso em processo industrial específico nos termos da Portaria ANP nº 240, de 25 de agosto de 2003”. Diário Oficial da União ou disponível na Internet no site: <http://www.anp.gov.br>. (Acessado em 2008), Brasil.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) – Site Oficial do Governo do Brasil na Internet que trata do Desenvolvimento Econômico e Social do Brasil. “Literatura Especializada, Portarias, Regulamentações e Normas Técnicas Específicas”. Internet: <http://www.bndes.gov.br> (Acessado em 2008). “Dados Técnicos, Estatísticos e Tecnológicos”. Disponível na Internet no site: <http://www.bndes.gov.br> (Acessado em 2008).

Biodieselbr – Site na Internet que trata de Biocombustíveis e seus Derivados. “Literatura Técnica, Equipamentos Especiais para diversas aplicações, Portarias, Regulamentações e Normas Técnicas Específicas para Combustíveis”. Disponível na Internet no site: <http://www.biodieselbr.com/biodiesel> (Acessado em Março de 2008).

BOSCH - Empresa Mundial da área de Sistemas Automotivos. “Literatura Técnica, Softwares Especiais, Equipamentos Automotivos para diversas aplicações, Portarias e Normas Técnicas Específicas”. Disponível na Internet no site: <http://www.bosch.com.br> (Acessado em Novembro e Dezembro de 2007).

Bosch, R., 1993. “Automotive handbook”. 3a edição, Departament for Technical Information, Stuttgart, Alemanha.

Bosch, R., 2005. “Manual de Tecnologia Automotiva”. Editora Edgard Blücher. São Paulo, SP.

Branco, G.M., 1990. “Tipos de emissão num veículo” (Relatório interno da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) – CETESB. São Paulo, SP.

Branco, G.M., Walsh, M.P., 2005. “Controle da poluição dos veículos a diesel. Uma estratégia para o progresso no Brasil”. São Paulo, SP.

Bueno, André Valente, 2006. “Análise da Operação de Motores Diesel com Misturas Parciais de Biodiesel”. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP.

Bueno, L. de S.R., Velásquez, J.A., 2008. “Estudo da Influência da Composição do Biodiesel sobre o Atraso de Ignição de Misturas B10 no Motor”. Relatório Acadêmico. Departamento de Engenharia Mecânica da PUC – PR e Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PR.

Camargo, M. N., 2003. “Estudo do comportamento de um motor de ignição por compressão, trabalhando com óleo Diesel e gás natural”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – PPGEA – Universidade Federal de Santa Maria, RS.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resoluções que estabelecem o “Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE”. Coletânea de Legislação Ambiental (CONAMA nº 08 de 31 de Agosto de 1993 - PROCONVE). Disponível na Internet no site: <http://www.mma.gov.br/port/conama> e <http://www.conama.gov.br> (Acessado em Novembro e Dezembro de 2007).

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito. “Resoluções, Portarias e Normas Técnicas Específicas”. DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. Disponível na Internet no site: <http://www.mj.gov.br/denatran/denatran.htm> (Acessado em Dezembro de 2007).

CTPETRO - Site na Internet que trata do Petróleo e seus Derivados. “Literatura Técnica, Equipamentos Especiais para diversas aplicações, Portarias, Regulamentações e Normas Técnicas Específicas para o Petróleo e seus Derivados”. Disponível na Internet no site: <http://www.ctpetro.com.br> (Acessado em Março e Abril de 2008).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Site Oficial do Governo do Brasil na Internet que trata do Desenvolvimento Agropecuário, Agricultura, Ecologia e Combustíveis Ecológicos desenvolvidos no Brasil. “Literatura Técnica, Equipamentos Especiais para diversas aplicações, Portarias, Regulamentações e Normas Técnicas Específicas”. Disponível na Internet no site: <http://www.embrapa.gov.br> (Acessado em 2008). “Dados Técnicos, Estatísticos e Tecnológicos”. Disponível na Internet no site: <http://www.embrapa.gov.br> (Acessado em 2008).

EPA - Environmental Protection Agency, 2002. “A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions”. Draft Technical Report. U.S. EPA National Vehicle and Fuel Emissions Laboratory. Ann Arbor, MI, USA.

Giacosa, D., 2000. “Motori Endotermici”. Ed. Ulrico Hoepli. 15ª ed., Milão, Itália.

Heywood, J. B., 1988. “Internal Combustion Engine Fundamentals”, Ed. Mc Graw-Hill, Book Company, New York, USA.

Holanda, A., 2004. “Biodiesel e Inclusão Social”. Série Cadernos de altos estudos (nº 1). Câmara dos Deputados – Coordenação de Publicações, Brasília, DF.

IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis., 1998. “Programa de Controle da Poluição do ar por Veículos Automotores – Proconve”. Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes. 2a edição. Brasília, DF. Disponível na Internet no site: <http://www.mma.gov.br/port/conama> e <http://www.conama.gov.br> (Acessado em Novembro e Dezembro de 2007).

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. “Literatura Técnica, Resoluções, Portarias e Normas Técnicas Específicas”. Disponível na Internet no site: <http://www.inmetro.gov.br> (Acessado em 2007 e 2008).

INMETRO - ABNT - SBM, 1999 (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Sociedade Brasileira de Metrologia). “Expressão da Incerteza de Medição na Calibração”. Primeira Edição Brasileira do EA – 4 / 02, Rio de Janeiro, Brasil.

Kittelson, D.B., Watts, W.F., Johnson, J., 2002. “Workshop on Vehicle Exhaust Particulate Emission Measurement Methodology”. San Diego, California, USA.

Kleeman, M.J., Schauer, J.J., Cass, G.R., 2000. “Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from motor vehicles”. Environ. Sci. Technol. USA.

Martinelli Jr., L. C., 2005. “Motores de Combustão Interna – Conceitos Básicos”. Apostila do Curso de Engenharia Mecânica. Unijuí – Campus Panambi, RS.

Milhor, C.E., 2002. “Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna - ciclo Otto”. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos (USP). São Paulo, SP.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Site Oficial do Governo do Brasil na Internet que trata de Agricultura, Pecuária e Abastecimento em Geral, Biocombustíveis e seus Derivados. “Literatura Especializada, Portarias, Regulamentações e Normas Técnicas Específicas”. Disponível na Internet no site: <http://www.mapa.gov.br> (Acessado em 2008). “Dados Técnicos, Estatísticos e Tecnológicos”. Disponível na Internet no site: <http://www.mapa.gov.br> (Acessado em 2008).

MDA - Ministério do Desenvolvimento Agrário – Site Oficial do Governo do Brasil na Internet que trata do Desenvolvimento Agrário no país, Biocombustíveis, Produções e Desenvolvimento em Geral. “Literatura Especializada, Portarias, Regulamentações e Normas Técnicas Específicas”. Disponível na Internet no site: <http://www.mda.gov.br> (Acessado em 2008). “Dados Técnicos, Estatísticos e Tecnológicos”. Disponível na Internet no site: <http://www.mda.gov.br> (Acessado em 2008).

MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia – Site Oficial do Governo do Brasil na Internet que trata do Desenvolvimento Tecnológico, Ciência Aplicada e Projetos Científicos em Geral desenvolvidos no Brasil. “Literatura Técnica Especializada, Equipamentos Especiais para diversas aplicações, Portarias, Regulamentações e Normas Técnicas Específicas”. Disponível na Internet no site: <http://www.mct.gov.br> (Acessado em 2008). “Dados Técnicos, Estatísticos e Tecnológicos”. Disponível na Internet no site: <http://www.mct.gov.br> (Acessado em 2008).

MME - Ministério de Minas e Energia – Site Oficial do Governo do Brasil na Internet que trata do Desenvolvimento Tecnológico, Energético e Projetos de Prospecção de Minérios em Geral no Brasil. Atividades e tecnologias relacionadas a obtenção de novas formas de “energias ecológicas”. “Literatura Técnica Especializada, Equipamentos Especiais para diversas aplicações, Portarias, Regulamentações e Normas Técnicas Específicas”. Disponível na Internet no site: <http://www.mme.gov.br> (Acessado em 2008). “Dados Técnicos, Estatísticos e Tecnológicos”. Disponível na Internet no site: <http://www.mme.gov.br> (Acessado em 2008).

Oliveira, L. B. & Da Costa, A. O., 2002. “Biodiesel – Uma Experiência de Desenvolvimento Sustentável”. IVIG / COOPE / Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

Parente, E. J. S., 2003. “Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica Num País Engraçado”. Ed: Unigráfica, Fortaleza, CE.

Petrobrás - Empresa Mundial (Multinacional Brasileira) da área de Prospecção e Beneficiamento de Petróleo. “Literatura Técnica, Equipamentos Especiais, Portarias e Normas Técnicas Específicas”. Disponível na Internet no site: <http://www.petrobras.com.br> (Acessado em 2007 e 2008).

PMI - Project Management Institute, 2004. “Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos”, Terceira Edição (Guia PMBOK), Four Campus Boulevard, Newtown Square, USA.

Portal BIODIESEL - Site Oficial do Governo do Brasil na Internet que trata de Biocombustíveis (Biodiesel) e seus Derivados. “Literatura Técnica, Equipamentos Especiais para diversas aplicações, Portarias, Regulamentações e Normas Técnicas Específicas para Combustíveis”. Disponível na Internet no site: <http://www.biodiesel.gov.br> (Acessado em 2008).

Rech, C., 2002. “Relação Ar/Combustível para a Máxima Potência Efetiva”. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

SAE - Society of Automotive Engineers. Associação de Engenheiros Automobilísticos Mundial (Normatizadora). “Literatura Técnica, Portarias, Regulamentações e Normas Técnicas Específicas para o setor automobilístico”. Disponível na Internet no site: <http://www.saebr.org.br> (Acessado em Dezembro de 2007).

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas. “Seminários, Eventos Técnicos, Cursos Especializados, Literatura Técnica (Cartilha Biodiesel) em diversas áreas do setor industrial nacional”. Disponível na Internet no site: <http://www.sebrai.br> (Acessado em 2007 e 2008).

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. “Educação Profissional, Seminários, Eventos Técnicos, Cursos Técnicos, Literatura Técnica em diversas áreas do setor industrial e de desenvolvimento científico”. Disponível na Internet no site: <http://www.senai.br> e ou no site:

<http://www.sp.senai.br/automobilística> (SENAI Automobilística de São Paulo, SP)(Acessado em Dezembro de 2007, Março e Abril de 2008).

SENAI –DET – DR - Paraná - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 2001. “Combustíveis, Lubrificantes e Aditivos”. Núcleo de Informações Tecnológicas (NIT), LABTEC – Laboratório de Tecnologia Educacional do SENAI – DR - PR (Departamento Regional do Estado do Paraná), SENAI – DET – DR – PR, Curitiba, PR.

Santos, M., A., 2007. “Inserção do Biodiesel na Matriz Energética Brasileira: Aspectos Técnicos e Ambientais Relacionados ao seu uso em Motores de Combustão”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Energia do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de São Paulo - USP (EP/FEA/IEE/IF), São Paulo, SP.

Sonntag, Richard E., Borgnakke, Claus, Wylen, Gordon J. Van., 1998. “Fundamentos da Termodinâmica” (“Fundamentals of Thermodynamics”). Tradução da 5o edição americana, Editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo, SP.

Taylor, C. F., 1988. “Análise dos Motores de Combustão Interna”, Volume 2, Ed. Edgard Blücher LTDA, São Paulo, SP.

Wylen, G. J. Van, 1995. “Fundamentos da Termodinâmica Clássica”. Ed. Edgard Blücher LTDA, São Paulo, SP.

Zaro, M. A. e Borchardt, I. G., 1982. “Instrumentação – Guia de Aulas Práticas”, Ed. da UFRGS, Porto Alegre, RS.

## ANEXOS

## A1. CERTIFICADOS DE QUALIDADE E ENSAIOS - BIODIESEL

NF:

CERTIFICAÇÃO DE QUALIDADE  
061020-1

**1- Descrição Usina:**

Nome: Brasil Biodiesel Comércio e Indústria de óleos vegetais LTDA  
CNPJ: 05.799.312/0001-20  
Endereço: Rua Projetada, 360 Nossa Senhora da Guia, CEP: 64800-000 Floriano-PI

2- N<sup>o</sup> de Registro. ANP: 280-20053- N<sup>o</sup> de Registro Receita Federal: 00001-002-2005

4-Parâmetros do Caminhão: GUA 9583

5- Descrição do Biodiesel:

Rota: metálica Oleaginosa: Mamona

6- Informações sobre a amostra:

N<sup>o</sup> do Lote Controle: 060926-1 / 060926-2 15T2-C descarga:0000183 carga:0011580

Cliente: UCS

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	METODO	RESULTADO
Aspecto	-	LII (1)	Visual	LII
Massa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	Anotar (2)	ASTM D 4052	918,4
Viscosidade Cinemática a 40°C,	mm <sup>2</sup> /s	Añotar (3)	ASTM D 445	12,14
Água e sedimentos, Max. (4)	% volume	0,050	ASTM D 2709	<0,05
Ponto de fulgor, min.	°C	100,0	ASTM D 93	186
Destilação; 90% vol. recuperados, Max.	°C	360 (5)	ASTM D 1160	342
Resíduo de carbono dos 100% destilados, Max.	% massa	0,10	ASTM D 189	0,016
Cinzas sulfatadas, Max.	% massa	0,020	ASTM D 874	0,002
Sódio + Potássio, Max.	mg/kg	10	EN 14108	0,5
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, Max.	-	1	ASTM D 130	1
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,80	ASTM D 664	0,76
Glicerina livre, Max.	% massa	0,02	EN 14105	0,018
Glicerina total, Max.	% massa	0,38	AOCS Ca 14-56	0,38
Ponto de entupimento de filtro a frio;	°C	-	NBR 14747	-3
Metanol ou Etanol, máx.	% massa	0,5	EN 14110	0,29
Estabilidade a oxidação a 110°C; h	h	6	EN 14112	6,0

*P/ Ana Claudine Pereira Mendes*

Figura A1 – Certificado da qualidade ( A ). Adaptado de Agrale (2008).

Nota:

- (1) LII – Límpido e isento de impurezas.
- (2) A mistura óleo diesel/biodiesel utilizada deverá obedecer aos limites estabelecidos para massa específica a 20°C constantes da especificação vigente da ANP de óleo diesel automotivo.
- (3) A mistura óleo diesel/biodiesel utilizada deverá obedecer aos limites estabelecidos para viscosidade a 40°C constantes da especificação vigente da ANP de óleo diesel automotivo.
- (4) Temperatura equivalente na pressão atmosférica.
- (5) A mistura óleo diesel/biodiesel utilizada deverá obedecer aos limites estabelecidos para ponto de entupimento de filtro a frio constantes da especificação vigente da ANP de óleo diesel automotivo.
- (6) Os resultados acima se referem somente a este lote.

DATA DE EMISSÃO: 20/10/06

**Nota:** O produto apresenta 400 ppm de antioxidante.

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

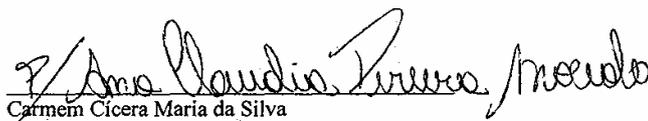
  
Carmem Cícera Maria da Silva  
CRQ: 18.200.077

Figura A2 – Certificado da qualidade ( B ). Adaptado de Agrale (2008).

## Certificado de Ensaio

Data da Emissão 09/01/08 às 17:19 h

### Dados do Interessado/Cliente

Interessado/Cliente: AGRALE S/A

Centro de Custos: 506

Grupo/Divisão: MKT

Cliente Direto: DPPI

Endereço: ROD.BR 116,KM.145,NR.15104-FABR.I

Cep/Cidade/UF/Pais: 95020-972 / CAXIAS DO SUL / RS / BRASIL

Telefone/FAX: (54 ) 3238-8000 / (54) 3238-8133

E-mail: epossamai@agrle.com.br

### Dados da Amostra

Produto/Material: Biodiesel

Controle: MKT 15915

Classe: Biodiesel

Coletada por: Interessado

Data da Coleta: 20/12/07

Responsável:

Identificação: Biodiesel de Soja

Data do Recebimento: 02/01/08 às 09:07 h

### Comentários

Teste Motor N.º: M 90 ID - D 70187 - Data e N.º da Nota Fiscal de Compra: 23/11/2007 - Nota N.º 559 - 1º Remessa.

Fábio R N da Silva  
Engenheiro Químico  
05302423

Rodrigo R Davesac  
Engenheiro Químico, D.Sc.  
05301819

Vanice Timm Koschier  
Técnico Químico  
05406480

Os resultados deste documento tem significação restrita e se aplicam exclusivamente a esta amostra. Se enviado por meio eletrônico dispensa assinatura.

Este documento só poderá ser reproduzido na íntegra. Reprodução por partes requer aprovação escrita do laboratório.

## Resultados do Ensaio

Ensaio (Unidade)	Resultado	Branco	Método	LDM	± IM%	Data
Amostra (174679) -						
Água e Sedimentos (% volume)	0,00	-	ASTMD1796	-	-	04/01/08
CFPP (°C)	-5,0	-	ASTMD6371	-	-	08/01/08
Corrosão ao Cobre à 50°C	1a	-	ASTMD130	-	-	04/01/08
Estab. à oxidação à 110 °C (h)	4,93	-	EN14112/03 (Rancimat)	-	-	02/01/08
Glicerídeos em Biodiesel (% peso)	-	-	-	-	-	07/01/08
Glicerina Total (% peso)	0,14	-	ASTMD6584/00E1	-	-	07/01/08
Índice de Iodo - Wijs (g iodo/100g FAME)	140	-	EN14111	-	-	09/01/08
TAN (mgKOH/g)	0,29	-	Isatec664	-	-	04/01/08
Triglicerídios (% peso)	0,68	-	ASTMD6584/00E1	-	-	07/01/08
Enxofre (ANTEK) (% peso)	0,00018	-	ASTMD5453	-	-	08/01/08
Visc. Cin. à 40°C (OPL) (mm <sup>2</sup> /s (cSt))	4,720	-	Isatec445	-	-	08/01/08

### Legendas

LDM: Limite de Detecção na Unidade do Ensaio

Estab.: Estabilidade

IM: Incerteza do Método

Visc.: Viscosidade

Data: Data da realização do Ensaio

Cin.: Cinemática

(OPL): Seção de Lubrificantes

**FIM**

Figura A3 – Certificado de ensaio Soja (1). Adaptado de Agrale (2008).

## Certificado de Ensaio

Data da Emissão 09/01/08 às 17:21 h

### Dados do Interessado/Cliente

Interessado/Cliente: AGRALE S/A  
Grupo/Divisão: MKT

Centro de Custos: 506  
Cliente Direto: DPPI

Endereço: ROD.BR 116,KM.145,NR.15104-FABR.I  
Telefone/FAX: (54 ) 3238-8000 / (54) 3238-8133

Cep/Cidade/UF/Pais: 95020-972 / CAXIAS DO SUL / RS / BRASIL  
E-mail: epossamai@agrle.com.br

### Dados da Amostra

Produto/Material: Biodiesel

Controle: MKT 15915

Classe: Biodiesel

Coletada por: Interessado

Data da Coleta: 20/12/07

Responsável:

Identificação: Biodiesel de Soja

Data do Recebimento: 02/01/08 às 09:07 h

### Comentários

Teste Motor N.º: M 90 ID - D 70187 - Data e N.º da Nota Fiscal de Compra: 23/11/2007 - Nota N.º 559 - 1º Remessa.

Fábio R N da Silva  
Engenheiro Químico  
05302423

Vanice Timm Koschier  
Técnico Químico  
05406480

Os resultados deste documento tem significação restrita e se aplicam exclusivamente a esta amostra. Se enviado por meio eletrônico dispensa assinatura.

Este documento só poderá ser reproduzido na íntegra. Reprodução por partes requer aprovação escrita do laboratório.

Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE/INMETRO, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades - SI)

## Resultados do Ensaio

Ensaio (Unidade)	Resultado	Branco	Método	LDM	± IM%	Data
Amostra (174679) -						
Cálcio - Plasma p/ óleos (mg/Kg)	4,60	-	ASTMD5185/05	0,027	-	04/01/08
Cinza Sulfatada (% massa)	0,005	-	ASTMD874/06	-	-	08/01/08
Fósforo - Plasma p/ óleos (mg/Kg)	<0,76	-	ASTMD5185/05	0,760	-	03/01/08
Massa específica à 20°C (Kg/m³)	881,7	-	ASTMD1298/99-e2	-	-	03/01/08
Metais - Plasma p/ óleos	-	-	ASTMD5185/05	-	-	04/01/08
Ponto de Fulgor PM Proced.A (°C)	120,0	-	ASTMD93/07	-	-	08/01/08
Potássio - Plasma p/ óleos (mg/Kg)	ND	-	ASTMD5185/05	0,78	-	04/01/08
Sódio - Plasma p/ óleos (mg/Kg)	ND	-	ASTMD5185/05	0,14	-	04/01/08

### Legendas

LDM: Limite de Detecção na Unidade do Ensaio  
IM: Incerteza do Método  
Data: Data da realização do Ensaio

Proced.: Procedimento  
PM: Pensky Martens  
ND: Não Detectado

**FIM**

Figura A4 – Certificado de ensaio Soja (2). Adaptado de Agrale (2008).

## A2. COMBUSTÍVEIS DO PROJETO BIODIESEL

Tabela A1 - Principais diferenças do óleo diesel comercializado no Brasil (Agrale, 2008).

### PRINCIPAIS DIFERENÇAS DOS ÓLEOS DIESEL

Principal Uso	Máquinas Agrícolas	Automotivo Comercial		Laboratórios	Embarcações Marítimas
Tipo de Diesel	Rubilene 813	Metropolitano (D)	Interior (B)	Automotivo de Referência (Padrão)	Marítimo
Comercialização	Nas empresas devido à segurança	Somente capitais	Demais regiões do território nacional (ex.: Caxias do Sul).	Ensaio de avaliação de consumo de combustível e emissões veiculares para fins de homologação	
Enxofre Total, máx.	7500 mg/kg ou ppm (0,75% massa)	500 mg/kg ou ppm (0,05% massa)	2000 mg/kg ou ppm (0,2% massa)	50 mg/kg ou ppm (0,005% massa)	10000 mg/kg ou ppm (1% massa)
Massa Específica a 20°C (kg/m <sup>3</sup> )	820 a 880	820 a 865	820 a 880	835 a 845	820 a 880
Ponto de Fulgor, mín., (°C)	75	38	38	38	60
Cor ASTM (máx.)	L 2,5	3,0	3,0	3,0	3,0
Corante	Castanho	(sem corante) sua cor natural assemelha-se a um amarelo claro	Vermelho intenso	-	-
Viscosidade a 40°C (mm <sup>2</sup> /s) cSt	2,5 a 5,5	2,0 a 5,0	2,0 a 5,0	2,5 a 3,5	1,6 a 6,0
Número de Cetano, mín.	42	42	42	51-54	40
Ponto de Entupimento de Filtro a Frio, máx. (°C)	-12	Varia com o período do ano e região do Brasil (tabelado variando de 0 a 12)	Varia com o período do ano e região do Brasil (tabelado variando de 0 a 12)	Varia com o período do ano e região do Brasil (tabelado variando de 0 a 12)	Varia com o período do ano e região do Brasil (tabelado variando de 2 a 13)
Referência	Ficha Técnica Ipiranga de 12/09/2007	ANP N° 15 de 17/07/2006		Resolução ANP N° 35 de 09/11/2007	Portaria DNC N° 32 de 04/08/1997

### NOMENCLATURA DO DIESEL COMERCIALIZADO PELA IPIRANGA

A descrição dada ao óleo diesel na tabela abaixo corresponde à descrição do produto utilizada nas notas fiscais que são enviadas a empresa Agrale S.A..

DESCRIÇÃO	COR	ADITIVO
Óleo Diesel Comum	Vermelho	S/ aditivo
Óleo Diesel Metropolitano	Amarelo	S/ aditivo
Óleo Diesel Metropolitano	Amarelo	C/ aditivo
Óleo Diesel Master	Vermelho	C/ aditivo

NOTA 1: As informações acima foram pesquisadas nas referências descritas na tabela e visam auxiliar na comparação dos diferentes tipos de óleo diesel existente no Brasil. Foram mantidos somente os valores das referências mais atuais, ou seja, em vigor atualmente. Qualquer informação adicional deve ser consultada as referências. O diesel Rubilene é um nome comercialmente utilizado pela Ipiranga, não estando disponível para a venda em postos de abastecimento.

NOTA 2: Informações obtidas com o Sr. Fernando Dorneles, representante da Área Comercial da Ipiranga, foram entregues ao Sr. Diogo Lusa em 10.12.2007.

Vale ressaltar que a Lei nº 11097 determina que a partir de 2008 torna-se obrigatório a utilização de 2% de biodiesel no diesel (B2) e de utilização de (B5) a partir de 2012.

Tabela A2 – Análise das propriedades físicas e químicas do Biodiesel (Agrale, 2005).

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO BIODIESEL**

<b>Ensaiaados na “ISATEC” (Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico)</b>					
<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Métodos</b>	<b>Biodiesel de Mamona - Rota Metílica</b>	<b>Biodiesel de Soja - Rota Metílica</b>	<b>Biodiesel de Dendê - Rota Metílica*</b>
Massa específica (20°C)	kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 4052	913,4	883	870,8
Viscosidade Cinemática (40°C)	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445 ou *NBR 10441	12,01	4,266	4,246
Água e sedimentos, máx. (4)	% volume	ASTM D 2709	<0,05	0	---
Ponto de fulgor, mín	°C	ASTM D 93	69	164	106
Teor de Cinzas Sulfatadas, máx	% massa	ASTM D 874	0,01	0,004	---
Teor de Enxofre Total (6)	% massa	ASTM D 5453	0,02	0,001	0
Ponto de entupimento de filtro a frio	°C	NBR 14747 ou ASTM D-6584	20	-7	---
Estabilidade a oxidação (110°C)	h	EN 14112	9,56	3	---
Índice de Iôdo - Wijs	g/100g de FAME	EN 14111	85	131	---
Número de Cetanos (aproximado)	---	ASTM D 613	36,0	49,1	49,7
<b>*Análise físico – química, produzidas pelo Instituto de Química – UFRGS.</b>					

Tabela A3 – Análise das propriedades do Biodiesel (Agrale, 2008).

Resultado da análise das propriedades físicas e químicas do biodiesel conforme ANP nº 42, de 24.11.2004 – ISATEC.

Características	Unidades	Limites	Métodos	<u>Resultados</u>		
				<i>Biodiesel de Soja</i>	<i>Biodiesel de Mamona</i>	<i>Biodiesel de Dendê</i>
Aspecto	---	LII (1)	Visual	---	---	---
Massa específica (20°C)	kg/m <sup>3</sup>	Anotar (2)	ASTM D 1298/99-e2	<b>881,7</b>	<b>912,5</b>	<b>871,5</b>
Viscosidade Cinemática (40 °C) (OPL)	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	Anotar (3)	ISATEC 445	<b>4,720</b>	<b>10,77</b>	<b>4,482</b>
Viscosidade Cinemática (60 °C)	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	---	---	---	---	---
Viscosidade Cinemática (80 °C)	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	---	---	---	---	---
Água e sedimentos, máx. (4)	% volume	0,05	ASTM D 1796	<b>0,00</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>0,00</b>
Contaminação Total (6)	mg/kg	Anotar	EN 12662	---	---	---
Ponto de fulgor (PM Procedimento A)	°C	100	ASTM D 93/07	<b>120,0</b>	<b>143,0</b>	<b>150,0</b>
Teor de éster (6)	% peso	Anotar	em 14103	---	---	---
Destilação; 90% vol. Recuperado, máx.	°C	360 (5)	ASTM D 1160	---	---	---
Resíduo de carbono dos 100% destilados, máx.	% peso	0,10	ASTM D 189	---	---	---
Teor de Cinzas Sulfatadas, máx.	% massa	0,020	ASTM D 874/06	<b>0,005</b>	<b>0,01</b>	<b>0,001</b>
Teor de Enxofre Total (6) (ANTEK)	% peso	Anotar	ASTM D 5453	<b>0,00018</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,0009</b>
Cálcio – Plasma p/ óleos.	mg/kg	---	ASTM D 5185/05	<b>4,60</b>	<b>1,19</b>	<b>0,027</b>
Fósforo – Plasma p/ óleos	mg/kg	---	ASTM D 5185/05	<b>&lt;0,76</b>	<b>&lt;0,76</b>	<b>0,760</b>
Metais – Plasma p/ óleos	mg/kg	---	ASTM D 5185/05	---	---	---
Potássio – Plasma p/ óleos	mg/kg	---	ASTM D 5185/05	---	<b>13,90</b>	<b>0,78</b>
Sódio – Plasma p/ óleos	mg/kg	---	ASTM D 5185/05	---	<b>0,61</b>	<b>0,14</b>
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	---	1	ASTM D 130	<b>1 a</b>	<b>1 a</b>	<b>1 a</b>
Índice de acidez, máx. (TAN)	mg KOH/g	0,8	ISATEC 664	<b>0,29</b>	<b>0,87</b>	<b>1,66</b>
Triglicerídios	% peso	---	ASTM D 6584/00E1	<b>0,68</b>	<b>0,06</b>	---
Glicerina total, máx.	% peso	0,38	ASTM D-6584	<b>0,14</b>	<b>0,20</b>	---
Ponto de entupimento de filtro a frio	°C	---	NBR 14747 ou ASTM D-6584	---	---	---
Metanol ou Etanol, máx.	% peso	0,5	em 14110	---	---	---
Estabilidade a oxidação (110 °C)	H	6	EN 14112 / 03 (Rancimat)	<b>4,93</b>	<b>16,97</b>	<b>5,66</b>
Teor de Carbono	% peso	---	ASTM D 5291	---	---	---
Teor de Hidrogênio	% peso	---	ASTM D 5291	---	---	---
Teor de Nitrogênio	% peso	---	ASTM D 5291	---	---	---
Índice de Iôdo – Wijs.	g.iôdo/100g de FAME	---	em 14111	<b>140</b>	<b>113</b>	<b>43</b>
Número de Cetanos	---	---	ASTM D 613	---	---	---
Densidade 15 / 4 °C	kg/m <sup>3</sup>	---	ASTM D 1298	---	---	---
Densidade 60 °C	kg/m <sup>3</sup>	---	---	---	---	---
Densidade 80 °C	kg/m <sup>3</sup>	---	---	---	---	---
Data da compra dos combustíveis:				<a href="#">23.11.2007</a>	<a href="#">06.12.2007</a>	---
Nota Fiscal da Compra dos combustíveis:				<a href="#">Nº 559-1 (1º R)</a>	<a href="#">Nº 3409</a>	---
Data da coleta dos combustíveis:				<a href="#">20.12.2007</a>	<a href="#">20.12.2007</a>	<a href="#">18.10.2007</a>

### A3. MOTOR AGRALE M93 ID – ESPECIFICAÇÕES E DESEMPENHO

O motor de combustão interna Agrale M93 ID, utilizado no Projeto Biodiesel, é um motor monocilíndrico de injeção direta de combustível.



Figura A5 – Motor Agrale M93 ID. Adaptado de Agrale (2008).

## DIMENSÕES GERAIS

Dimensões (motor STD):	- Altura:	688 mm
	- Comprimento:	562,5 mm
	- Largura:	686 mm

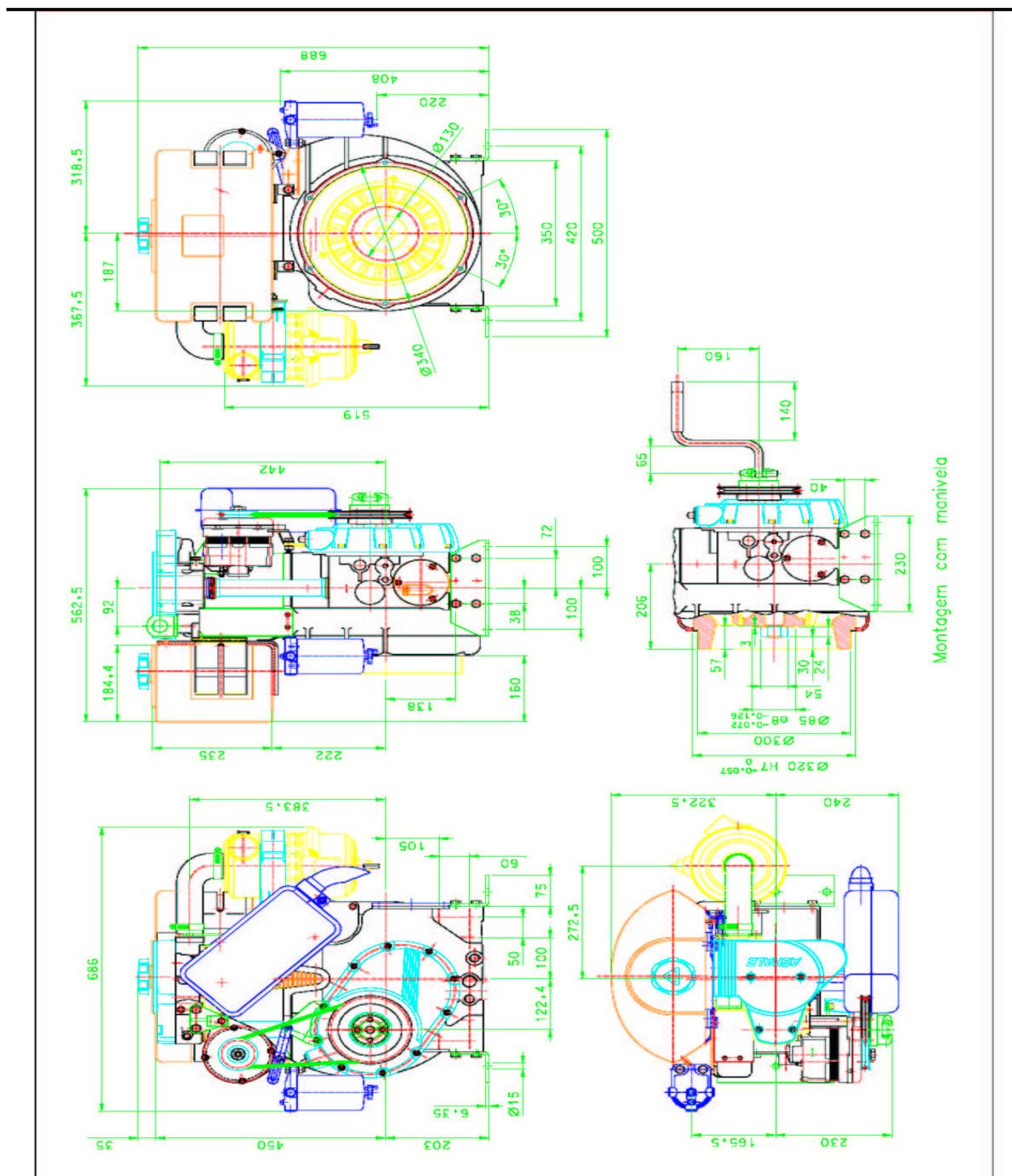


Figura A6 (a) – Especificações técnicas do motor Agrale M93 ID. Adaptado de Agrale (2008).

## ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS GERAIS DO MOTOR AGRALE M93 ID

Tipo, nº. de cilindros, disposição das válvulas:		Vertical, 01 cilindro, OHV
Diâmetro e curso do êmbolo:		90 x 105 mm
Cilindrada:		668 cm <sup>3</sup>
Razão de compressão:		20,0 : 1
Faixa de rotação:	- Normal (STD):	1800 a 2750 RPM
	- Especial (sob consulta):	1500 a 2750 RPM
Potência máxima, rotação e norma:	- Curva A:	9,6 kW, 2500 RPM, NBR 6396
	- Curva B:	10,3 kW, 2500 RPM, NBR 6396
	- Curva F:	10,8 kW, 2750 RPM, NBR ISO 1585
Torque máximo e rotação:		3,9 daN.m a 2350 RPM, NBR ISO 1585
Material do cilindro:		MF 5
Material do cabeçote do cilindro:		METAL 2 Liga B – opcional EN1706 EN AC AlSi10Mg ou Alumínio 309 SAE J 452
Folga da câmara de combustão:		0,8 a 0,9 mm
Velocidade média do êmbolo:		9,63 m/s a 2750 RPM
Ordem de explosão:		-
Tipo de combustível:		Óleo Diesel
Camisa do cilindro (seca ou úmida):		Seca, refrigerada a ar
Tipo de refrigeração:		A ar, por turbina incorporada ao volante
Área mínima livre para entrada de ar de refrigeração do motor:		350 cm <sup>2</sup>
Tipo de regulador de rpm (faixa de ação):		Tipo centrífugo - 1500 a 2750 RPM
Grau de irregularidade:		± 2,5%
Rotação de marcha lenta do motor:		800 RPM
Peso do Motor:	- STD s/ partida elétrica:	145 kg
	- STD c/ partida elétrica:	161 kg
Relação peso / potência:	- STD s/ partida elétrica:	13,4 kg/ kW a 2750 RPM, curva F
	- STD c/ partida elétrica:	14,9 kg/ kW a 2750 RPM, curva F
Inclinação máxima em todas as direções:		20°

Figura A6 (b) – Especificações técnicas do motor Agrale M93 ID. Adaptado de Agrale (2008).

## CURVAS DO MOTOR AGRALE M93 ID

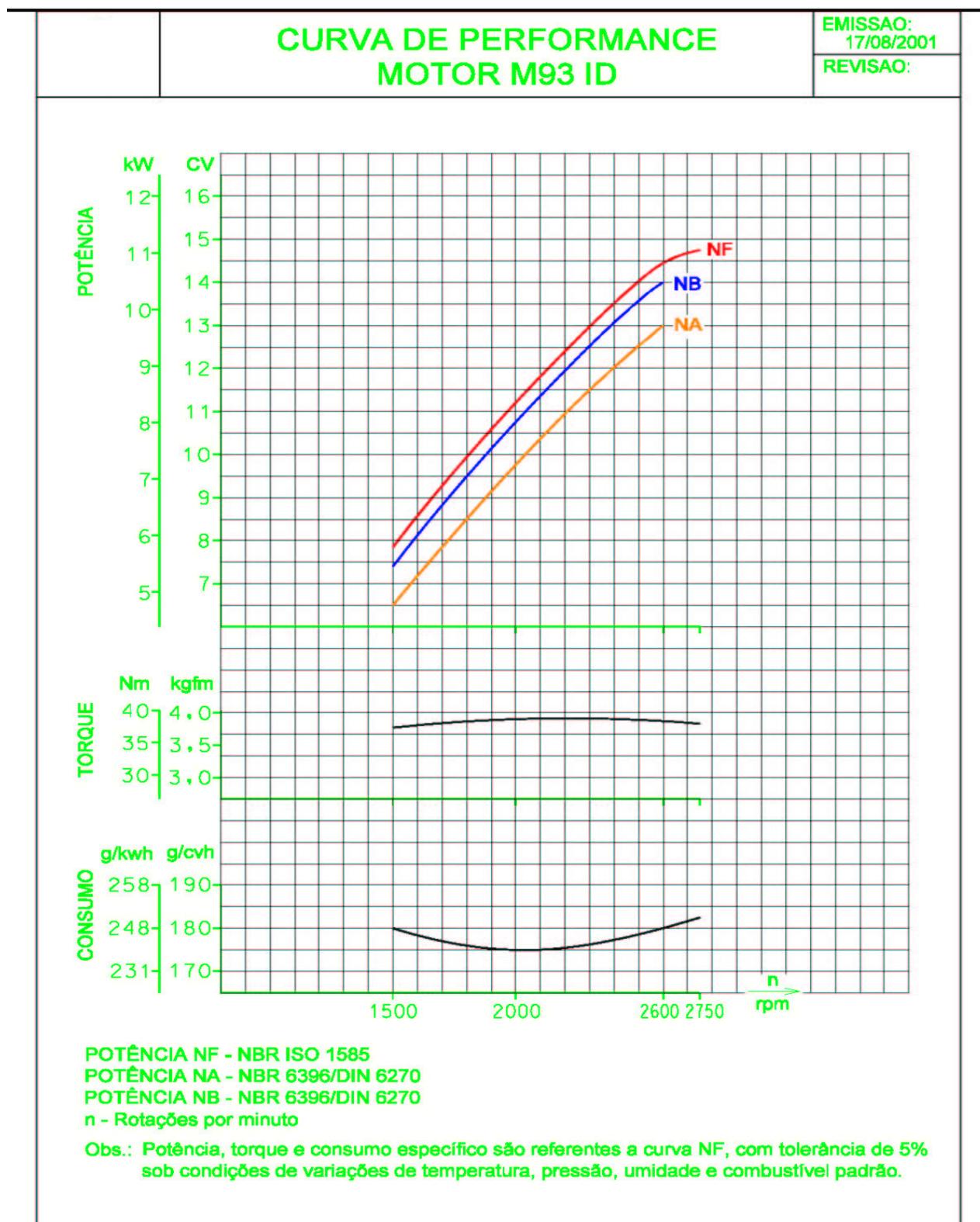


Figura A6 (c) – Especificações técnicas do motor Agrale M93 ID. Adaptado de Agrale (2008).

Tabela A4 – Tabela de dados dos ensaios (oficial) (Agrale, 2008).

		<b>ENSAIO DINAMOMÉTRICO</b>										Solicitação N°: _____ / _____ / _____						
<b>GERAL</b>				<b>MOTOR DIESEL</b>				<b>MOTOR OTTO</b>				<b>OBSERVAÇÕES</b>						
Modelo:		RPM:		Curva:		Carburador:												
Número:		RPM Vazio:		RPM Curva:		Posição agulha:												
Cilindrada:		Curso útil:		mm <sup>3</sup> /curso:		G. Max		G.min										
Vol. Câmara:		PFI:		PII:		Válv.:		Bóia:										
Rend. Mecan.:		Pressão bico:		atm		Vela:		Folga:										
Dinamômetro:		Alt. câmara:		mm		Avanço:												
Ponto	Motor RPM	Dinam. RPM	Carga Kg ( ) N ( )	CONSUMO			CONDIÇÕES DE AMBIENTE				Óleo	Ar/Água	Escape 1	Escape 2	UB	B-BY	PRESSÃO ÓLEO (kgf/cm <sup>2</sup> )	
				Temp seco TS(°C)	Temp ar úmido TU(°C)	Temp aspiração TAZ(°C)	Pressão barométrica (mmHg)	Entrda	Saída	Cabeçote								
1				Volume: T ( ) M ( )														
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
DATA: ____ / ____ / ____															VISTO: _____			

MOD I-1155/I



Tabela A6 – Dados coletados em ensaios com óleo diesel (2) (ABT) (Agrale, 2008).

		ENSAIO DINAMOMÉTRICO										Solicitação N°: _____ / _____			
		GERAL			MOTOR DIESEL			MOTOR OTTO			OBSERVAÇÕES				
Modelo:	M 93 ID	RPM:	2750	Curva:	F	Carburador:	---	CURVA TESTEMUNHA NIBSZ							
Número:	---	RPM Vazio:	2050	Posição agulha: ---			INICIAL PARA BIODIESEL DE								
Cilindrada:	668	Curso útil:	---	G. Max ---			SODA - CURVA 2								
Vol. Câmara:	---	mm³/curso:	---	Pulverizador: ---			COMBUSTÍVEL 30°C								
Taxa Compr.:	---	PFI:	17°	Válv.: ---			---								
Rend. Mecan.:	0,74	PII:	---	Vela: ---			---								
Dinamômetro:	W130	Pressão bico:	180	Ponto: ---			---								
Dens. Comb.:	0,840	Air. câmara:	---	Avanço: ---			VOLUME MEDIDO 30ml								
Ponto	ROTAÇÃO		CARGA		CONSUMO		CONDIÇÕES DE AMBIENTE					TEMPERATURA (°C)			PRESSÃO OLEO (kgf/cm²)
	Motor RPM	Dinam. RPM	Kgf ( ) N ( )	Temp. seco (°C)	Temp. úmido (°C)	Temp. aspiração (°C)	Pressão barométrica (mmHg)	Óleo	Entrada	Saída	Capôtole	Escape 1	Escape 2	UB	
1	2750	1015	367	28	19	32	695	80	33			631		5,5	3,5
2	2600	915	351					91	33			624		5,4	4,0
3	2400	87	347					91	33			602		5,4	3,0
4	2700	81	354					90	33			575		5,5	2,0
5	2000	76	364					80	33			556		5,6	3,0
6	1800	67	357					88	33			535		5,6	2,0
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
DATA: 20/05/08		VISTO: ITACIR													

Tabela A7 – Dados corrigidos dos ensaios com óleo diesel (ABT) (Agrale, 2008).

 <b>AED0010</b> ED-Ensaio Dinamométricos		<b>Ensaio Dinamométrico - Motor Diesel</b>				Data: 12/06/08 Hora: 16:55							
<b>Teste Número:</b> 328		<b>Dinamômetro:</b> 3		<b>Operador:</b> ITACIR									
<b>Data do Teste:</b> 20/05/2008		<b>Relação Transmissão:</b> 1		<b>Modelo:</b> BIO93									
<b>Descrição:</b> Curva Testemunha Diesel Inicial - Comparativo B25 de Soja Combustível 30°C - Curva 1													
<b>Dados do Motor</b>													
<b>Curva:</b> F		<b>Rendimento Mecânico:</b> 0,74											
<b>Ciclo:</b> 4 Tempos		<b>Altura Câmara 1:</b> 0,00 mm											
<b>P.F.I.:</b> 17,00 APMS		<b>Altura Câmara 2:</b> 0,00 mm											
<b>P.I.I.:</b> 0,00 APMS		<b>RPM Nominal:</b> 2750											
<b>Cilindrada:</b> 668,00 cm <sup>3</sup>		<b>RPM Vazio:</b> 2950											
<b>Condições do Teste</b>													
<b>Grandeza de Consumo, Tempo ou Massa (T ou M):</b> T													
<b>Constante de Consumo:</b> 50 (cm <sup>3</sup> /s)													
<b>Densidade do Combustível:</b> 0,840 g/cm <sup>3</sup>													
<b>Sistema Medição Tempo (C = Centesimal, S = Sexagesimal):</b> S													
<b>TS:</b> 28,0 gC		<b>TU:</b> 19,0 gC		<b>TO:</b> 31,0 gC		<b>TO:</b> 695 mm Hg							
<b>Resultados</b>													
RPM (Min)	Carga KG	Cons. S.,G	T0 GC	TE1 GC	TE2 GC	P0	F0	BB	KD	NER KW	MER DANM	QER G / KWH	Q0 KG / H
1800	3,73	90,00	90	533	0	0,0	4,3	02,0	1,054	7,08	3,75	237,40	1,68
2000	3,79	80,00	91	556	0	0,0	4,4	02,0	1,056	8,00	3,82	236,12	1,89
2200	3,71	72,00	92	579	0	0,0	4,2	03,0	1,057	8,63	3,75	243,42	2,10
2400	3,64	66,00	93	599	0	0,0	4,0	04,0	1,057	9,23	3,67	248,10	2,29
2600	3,63	60,00	93	611	0	0,0	3,9	04,0	1,061	10,01	3,68	251,65	2,52
2750	3,76	58,00	93	617	0	0,0	3,7	05,0	1,056	10,92	3,79	238,75	2,61
<b>ALFA T: 0,00</b>				<b>BETA: 0,000</b>									
RPM : ROTAÇÃO DO MOTOR		TE1 : TEMPERATURA ESCAPE 1		QER : CONSUMO ESPECÍFICO REDUZIDO									
CARGA : CARGA DO DINAMÔMETRO		TE2 : TEMPERATURA ESCAPE 2		Q0 : CONSUMO OBSERVADO									
CONS : MEDIDA DE CONSUMO		NER : POTÊNCIA EFETIVA REDUZIDA		P0 : PRESSÃO DO ÓLEO (KGM / CM2)									
TO : TEMPERATURA DO ÓLEO		MER : MOMENTO DE FORÇA EFETIVA REDUZIDA		F0 : TEOR DE FULIGEM REDUZIDO									
BB : BLOW-BY													
Realizado / Data		Verificado / Data		Chefia / Data		Gerência / Data							

## A4. RESULTADOS DOS ENSAIOS EM DINAMÔMETRO

Tabela A8 – Potência [kW] (Biodiesel de Soja)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
	ENSAIO 1: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
ROTAÇÃO	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE REPETIÇÕES	MÉDIA ENTRE REPETIÇÕES
1800	7,08	7,1	0,282485876	7,09
2000	8	8,06	0,75	8,03
2200	8,63	8,59	-0,463499421	8,61
2400	9,23	9,25	0,216684724	9,24
2600	10,01	10,16	1,498501499	10,085
CURVA B25				
	ENSAIO 1: (TBS= 31°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 31°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
ROTAÇÃO	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE REPETIÇÕES	MÉDIA ENTRE REPETIÇÕES
1800	6,96	6,95	-0,143678161	6,955
2000	7,78	7,78	0	7,78
2200	8,28	8,36	0,966183575	8,32
2400	9,03	9,03	0	9,03
2600	9,73	9,84	1,130524152	9,785
CURVA B50				
	ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,859 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,859 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
ROTAÇÃO	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE REPETIÇÕES	MÉDIA ENTRE REPETIÇÕES
1800	6,93	6,91	-0,288600289	6,92
2000	7,85	7,74	-1,401273885	7,795
2200	8,28	8,27	-0,12072947	8,275
2400	8,78	8,97	2,164009112	8,875
2600	9,53	9,72	1,993704092	9,625
CURVA B75				
	ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,866 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 31°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,866 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
ROTAÇÃO	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE REPETIÇÕES	MÉDIA ENTRE REPETIÇÕES
1800	6,91	6,91	0	6,91
2000	7,8	7,79	-0,128205128	7,795
2200	8,19	8,29	1,221001221	8,24
2400	8,86	8,7	-1,805869074	8,78
2600	9,59	9,54	-0,521376434	9,565
CURVA B100				
	ENSAIO 1: (TBS= 27°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 30°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,874 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 27°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,874 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
ROTAÇÃO	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE REPETIÇÕES	MÉDIA ENTRE REPETIÇÕES
1800	6,9	6,93	0,434782609	6,915
2000	7,82	7,82	0	7,82
2200	8,44	8,47	0,355450237	8,455
2400	8,87	8,88	0,112739572	8,875
2600	9,61	9,54	-0,728407908	9,575
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
	ENSAIO 1: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 29°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
ROTAÇÃO	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE REPETIÇÕES	MÉDIA ENTRE REPETIÇÕES
1800	6,9	6,91	0,144927536	6,905
2000	7,77	7,87	1,287001287	7,82
2200	8,41	8,53	1,426872771	8,47
2400	9,12	9,2	0,877192982	9,16
2600	9,82	10,01	1,934826884	9,915

Tabela A9 – Torque [daN.m] (Biodiesel de Soja)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_328	BIO93_329	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,75	3,77	0,533333333	3,76
2000	3,82	3,85	0,785340314	3,835
2200	3,75	3,73	-0,533333333	3,74
2400	3,67	3,68	0,272479564	3,675
2600	3,68	3,73	1,358695652	3,705
CURVA B25				
ENSAIO 1: (TBS= 31°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 31°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_330	BIO93_331	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,69	3,69	0	3,69
2000	3,72	3,72	0	3,72
2200	3,59	3,63	1,114206128	3,61
2400	3,59	3,59	0	3,59
2600	3,57	3,61	1,120448179	3,59
CURVA B50				
ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,859 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,859 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_332	BIO93_333	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,68	3,67	-0,27173913	3,675
2000	3,75	3,7	-1,333333333	3,725
2200	3,59	3,59	0	3,59
2400	3,5	3,57	2	3,535
2600	3,5	3,57	2	3,535
CURVA B75				
ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,866 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 31°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,866 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_334	BIO93_335	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,67	3,67	0	3,67
2000	3,72	3,72	0	3,72
2200	3,56	3,6	1,123595506	3,58
2400	3,52	3,46	-1,704545455	3,49
2600	3,52	3,5	-0,568181818	3,51
CURVA B100				
ENSAIO 1: (TBS= 27°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 30°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,874 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 27°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,874 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_336	BIO93_337	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,66	3,68	0,546448087	3,67
2000	3,73	3,73	0	3,73
2200	3,66	3,68	0,546448087	3,67
2400	3,53	3,53	0	3,53
2600	3,53	3,5	-0,849858357	3,515
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) ENSAIO 2: (TBS= 29°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_338	BIO93_339	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,66	3,67	0,273224044	3,665
2000	3,71	3,76	1,347708895	3,735
2200	3,65	3,7	1,369863014	3,675
2400	3,63	3,66	0,826446281	3,645
2600	3,61	3,68	1,939058172	3,645

Tabela A10 – Consumo Específico [g/kW.h] (Biodiesel de Soja)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_328	BIO93_329	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	237,4	236,54	-0,362257793	236,97
2000	236,12	234,43	-0,71573776	235,275
2200	243,42	239,55	-1,589844713	241,485
2400	248,1	251,42	1,338170093	249,76
2600	251,65	252,18	0,210609974	251,915
CURVA B25				
ENSAIO 1: (TBS= 31°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 31°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_330	BIO93_331	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	249,26	248,09	-0,469389393	248,675
2000	245,21	248,29	1,256066229	246,75
2200	252,57	253,45	0,34841826	253,01
2400	260,03	260,03	0	260,03
2600	265,96	262,95	-1,131749135	264,455
CURVA B50				
ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,859 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,859 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_332	BIO93_333	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	253,65	254,12	0,185294697	253,885
2000	249,21	252,88	1,472653585	251,045
2200	255,85	256,09	0,093804964	255,97
2400	264,71	265,17	0,173775075	264,94
2600	265,88	269,68	1,429216188	267,78
CURVA B75				
ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,866 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 31°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,866 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_334	BIO93_335	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	256,19	256,18	-0,003903353	256,185
2000	254,66	256,53	0,734312417	255,595
2200	257,14	261,29	1,613906821	259,215
2400	266,64	271,34	1,762676268	268,99
2600	271,03	272,33	0,479651699	271,68
CURVA B100				
ENSAIO 1: (TBS= 27°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 30°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,874 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 27°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,874 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_336	BIO93_337	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	265,33	264,07	-0,474880338	264,7
2000	264,74	263,01	-0,65347133	263,875
2200	270,3	269,29	-0,373658898	269,795
2400	277,22	272,68	-1,637688478	274,95
2600	277,58	279,51	0,69529505	278,545
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 29°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_338	BIO93_339	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	240,81	243,02	0,917735974	241,915
2000	240,37	240,07	-0,124807588	240,22
2200	246,27	246,25	-0,008121168	246,26
2400	251,3	252,8	0,59689614	252,05
2600	252,4	256,12	1,47385103	254,26

Tabela A11 – Níveis de Fumaça [UB] (Biodiesel de Soja)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_328	BIO93_329	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	4,3	4,2	-2,325581395	4,25
2000	4,4	4,2	-4,545454545	4,3
2200	4,2	4,1	-2,380952381	4,15
2400	4	4	0	4
2600	3,9	4	2,564102564	3,95
CURVA B25				
ENSAIO 1: (TBS= 31°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 31°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_330	BIO93_331	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,7	3,8	2,702702703	3,75
2000	3,9	3,7	-5,128205128	3,8
2200	3,6	3,3	-8,333333333	3,45
2400	3,4	3,1	-8,823529412	3,25
2600	3,6	3,4	-5,555555556	3,5
CURVA B50				
ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,859 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 34°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,859 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_332	BIO93_333	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,1	3,4	9,677419355	3,25
2000	3,3	3,3	0	3,3
2200	2,9	3,2	10,34482759	3,05
2400	2,9	2,9	0	2,9
2600	2,9	3	3,448275862	2,95
CURVA B75				
ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,866 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 31°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 695 mmHg) (Dcomb= 0,866 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_334	BIO93_335	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	2,8	2,7	-3,571428571	2,75
2000	2,7	2,9	7,407407407	2,8
2200	2,5	2,9	16	2,7
2400	2,3	2,4	4,347826087	2,35
2600	2,4	2,3	-4,166666667	2,35
CURVA B100				
ENSAIO 1: (TBS= 27°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 30°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,874 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 27°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,874 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_336	BIO93_337	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	2,7	2,5	-7,407407407	2,6
2000	2,7	2,4	-11,11111111	2,55
2200	2,5	2,4	-4	2,45
2400	2,6	2,4	-7,692307692	2,5
2600	2,5	2,2	-12	2,35
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 29°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_338	BIO93_339	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	4,3	4,1	-4,651162791	4,2
2000	4,3	4	-6,976744186	4,15
2200	4	4	0	4
2400	3,8	3,9	2,631578947	3,85
2600	3,9	3,9	0	3,9

Tabela A12 – Potência [kW] (Biodiesel de Mamona)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
Mamona	ENSAIO 1: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO 2: (TBS= 29°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_338	BIO93_339	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	6,9	6,91	0,144927536	6,905
2000	7,77	7,87	1,287001287	7,82
2200	8,41	8,53	1,426872771	8,47
2400	9,12	9,2	0,877192982	9,16
2600	9,82	10,01	1,934826884	9,915
CURVA B25				
	ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,857 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO 2: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,857 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_340	BIO93_341	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	7,2	7,04	-2,222222222	7,12
2000	7,93	7,96	0,378310214	7,945
2200	8,54	8,52	-0,234192037	8,53
2400	9,18	9,17	-0,108932462	9,175
2600	9,95	10,04	0,904522613	9,995
CURVA B35				
	ENSAIO 1: (TBS= 33°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,871 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO 2: (TBS= 32°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,871 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_342	BIO93_343	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	7	7,06	0,857142857	7,03
2000	7,86	7,85	-0,127226463	7,855
2200	8,37	8,48	1,314217443	8,425
2400	9,09	9,16	0,770077008	9,125
2600	9,95	10	0,502512563	9,975
CURVA B75				
	ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,885 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO 2: (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,885 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_344	BIO93_345	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	7,17	7,14	-0,418410042	7,155
2000	8,02	8,09	0,872817955	8,055
2200	8,59	8,71	1,396973225	8,65
2400	9,31	9,32	0,107411386	9,315
2600	10,14	10,22	0,788954635	10,18
CURVA B100				
	ENSAIO 1: (TBS= 21°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,905 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO 2: (TBS= 21°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,905 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_346	BIO93_347	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	7,22	7,17	-0,692520776	7,195
2000	8,21	8,25	0,487210719	8,23
2200	8,77	8,78	0,114025086	8,775
2400	9,33	9,38	0,535905681	9,355
2600	10,06	10,06	0	10,06
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
	ENSAIO 1: (TBS= 22°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 24°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO 2: (TBS= 22°C) (TBU= 16°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_348	BIO93_349	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	7,12	7,07	-0,702247191	7,095
2000	8,08	8,09	0,123762376	8,085
2200	8,52	8,77	2,9342723	8,645
2400	9,22	9,45	2,494577007	9,335
2600	9,95	10,23	2,814070352	10,09

Tabela A13 – Torque [daN.m] (Biodiesel de Mamona)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 29°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_338	BIO93_339	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,66	3,67	0,273224044	3,665
2000	3,71	3,76	1,347708895	3,735
2200	3,65	3,7	1,369863014	3,675
2400	3,63	3,66	0,826446281	3,645
2600	3,61	3,68	1,939058172	3,645
CURVA B25				
ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,857 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,857 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_340	BIO93_341	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,73	3,74	0,268096515	3,735
2000	3,79	3,8	0,263852243	3,795
2200	3,71	3,7	-0,269541779	3,705
2400	3,65	3,65	0	3,65
2600	3,65	3,69	1,095890411	3,67
CURVA B50				
ENSAIO 1: (TBS= 33°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,871 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 32°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,871 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_342	BIO93_343	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,71	3,75	1,078167116	3,73
2000	3,75	3,75	0	3,75
2200	3,63	3,68	1,377410468	3,655
2400	3,62	3,64	0,552486188	3,63
2600	3,65	3,67	0,547945205	3,66
CURVA B75				
ENSAIO 1: (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,885 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,885 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_344	BIO93_345	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,8	3,79	-0,263157895	3,795
2000	3,83	3,86	0,783289817	3,845
2200	3,73	3,78	1,340482574	3,755
2400	3,71	3,71	0	3,71
2600	3,73	3,75	0,536193029	3,74
CURVA B100				
ENSAIO 1: (TBS= 21°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,905 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 21°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,905 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_346	BIO93_347	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,83	3,8	-0,783289817	3,815
2000	3,92	3,94	0,510204082	3,93
2200	3,81	3,81	0	3,81
2400	3,71	3,73	0,539083558	3,72
2600	3,7	3,7	0	3,7
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 22°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 24°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 22°C) (TBU= 16°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_348	BIO93_349	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,78	3,75	-0,793650794	3,765
2000	3,86	3,87	0,259067358	3,865
2200	3,7	3,81	2,972972973	3,755
2400	3,67	3,76	2,452316076	3,715
2600	3,65	3,76	3,01369863	3,705

Tabela A14 – Consumo Específico [g/kW.h] (Biodiesel de Mamona)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 29°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_338	BIO93_339	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	240,81	243,02	0,917735974	241,915
2000	240,37	240,07	-0,124807588	240,22
2200	246,27	246,25	-0,008121168	246,26
2400	251,3	252,8	0,59689614	252,05
2600	252,4	256,12	1,47385103	254,26
CURVA B25				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,857 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,857 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_340	BIO93_341	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	252,43	251,74	-0,273343105	252,085
2000	250,87	248,38	-0,99254594	249,625
2200	254,48	258,59	1,615058158	256,535
2400	264,51	262,93	-0,597330914	263,72
2600	267,33	267,14	-0,071073205	267,235
CURVA B50				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 33°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,871 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 32°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,871 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_342	BIO93_343	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	256,03	256,61	0,226535953	256,32
2000	255,64	259,44	1,486465342	257,54
2200	263,78	262,18	-0,606566078	262,98
2400	269,55	269,63	0,029679095	269,59
2600	267,11	267,87	0,284526974	267,49
CURVA B75				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,885 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,885 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_344	BIO93_345	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	261,46	262,42	0,367168974	261,94
2000	261,27	262,59	0,50522448	261,93
2200	268,69	266,92	-0,658751721	267,805
2400	273,72	275,71	0,727020313	274,715
2600	273,1	273,47	0,135481509	273,285
CURVA B100				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 21°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,905 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 21°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,905 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_346	BIO93_347	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	275,02	278,94	1,425350884	276,98
2000	271,96	274,25	0,842035593	273,105
2200	279,45	281,04	0,568974772	280,245
2400	286,2	284,63	-0,548567435	285,415
2600	289,1	289,1	0	289,1
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 22°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 24°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 22°C) (TBU= 16°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_348	BIO93_349	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	241,19	240,34	-0,352419255	240,765
2000	238,46	239,47	0,42355112	238,965
2200	246,4	246,2	-0,081168831	246,3
2400	252,21	253,84	0,646286824	253,025
2600	255,48	256,93	0,567559104	256,205

Tabela A15 – Níveis de Fumaça [UB] (Biodiesel de Mamona)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 28°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 31°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 29°C) (TBU= 19°C) (Tasp= 32°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_338	BIO93_339	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	4,3	4,1	-4,651162791	4,2
2000	4,3	4	-6,976744186	4,15
2200	4	4	0	4
2400	3,8	3,9	2,631578947	3,85
2600	3,9	3,9	0	3,9
CURVA B25				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,857 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 32°C) (TBU= 21°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,857 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_340	BIO93_341	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,4	3,4	0	3,4
2000	3,4	3,4	0	3,4
2200	3,2	3,2	0	3,2
2400	3,3	3,1	-6,060606061	3,2
2600	3,1	3,1	0	3,1
CURVA B50				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 33°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,871 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 32°C) (TBU= 22°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,871 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_342	BIO93_343	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	2,9	3	3,448275862	2,95
2000	2,9	2,9	0	2,9
2200	2,7	2,7	0	2,7
2400	2,8	2,7	-3,571428571	2,75
2600	2,8	2,8	0	2,8
CURVA B75				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 35°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,885 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 32°C) (TBU= 23°C) (Tasp= 36°C) (PBar= 691 mmHg) (Dcomb= 0,885 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_344	BIO93_345	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	2,3	2,5	8,695652174	2,4
2000	2,5	2,4	-4	2,45
2200	2,4	2,1	-12,5	2,25
2400	2,6	2,2	-15,38461538	2,4
2600	2,3	2,3	0	2,3
CURVA B100				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 21°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,905 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 21°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,905 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_346	BIO93_347	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	2,7	2,6	-3,703703704	2,65
2000	2,7	2,5	-7,407407407	2,6
2200	2,6	2,5	-3,846153846	2,55
2400	2,6	2,6	0	2,6
2600	2,8	2,5	-10,71428571	2,65
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 22°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 24°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 22°C) (TBU= 16°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_348	BIO93_349	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	4,7	4,4	-6,382978723	4,55
2000	4,7	4,4	-6,382978723	4,55
2200	4,3	4,2	-2,325581395	4,25
2400	4,1	4,2	2,43902439	4,15
2600	4,1	4,2	2,43902439	4,15

Tabela A16 – Potência [kW] (Biodiesel de Dendê)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
	<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 22°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 24°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 22°C) (TBU= 16°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_348	BIO93_349	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	7,12	7,07	-0,702247191	7,095
2000	8,08	8,09	0,123762376	8,085
2200	8,52	8,77	2,9342723	8,645
2400	9,22	9,45	2,494577007	9,335
2600	9,95	10,23	2,814070352	10,09
CURVA B25				
	<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 23°C) (TBU= 17°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 23°C) (TBU= 17°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_350	BIO93_351	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	6,98	7,03	0,716332378	7,005
2000	7,94	7,92	-0,251889169	7,93
2200	8,48	8,39	-1,061320755	8,435
2400	9,18	9,1	-0,871459695	9,14
2600	10	9,89	-1,1	9,945
CURVA B50				
	<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 24°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,854 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 24°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,854 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_352	BIO93_353	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	6,71	6,75	0,596125186	6,73
2000	7,57	7,7	1,717305152	7,635
2200	8,01	8,11	1,248439451	8,06
2400	8,87	8,89	0,225479143	8,88
2600	9,44	9,52	0,847457627	9,48
CURVA B75				
	<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 25°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,858 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 25°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,858 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_354	BIO93_355	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	6,64	6,67	0,451807229	6,655
2000	7,25	7,36	1,517241379	7,305
2200	7,7	7,6	-1,298701299	7,65
2400	8,58	8,61	0,34965035	8,595
2600	9,24	9,07	-1,83982684	9,155
CURVA B100				
	<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 689 mmHg) (Dcomb= 0,864 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 689 mmHg) (Dcomb= 0,864 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_356	BIO93_357	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	6,6	6,65	0,757575758	6,625
2000	7,53	7,48	-0,664010624	7,505
2200	7,8	7,89	1,153846154	7,845
2400	8,44	8,4	-0,473933649	8,42
2600	8,85	8,96	1,242937853	8,905
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
	<b>ENSAIO 1:</b> (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 28°C) (PBar= 688 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°) <b>ENSAIO 2:</b> (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 688 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)			
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_358	BIO93_359	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	6,91	6,85	-0,868306802	6,88
2000	7,78	7,81	0,385604113	7,795
2200	8,34	8,49	1,798561151	8,415
2400	9,11	9,12	0,109769484	9,115
2600	9,81	9,85	0,407747197	9,83

Tabela A17 – Torque [daN.m] (Biodiesel de Dendê)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 22°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 24°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 22°C) (TBU= 16°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_348	BIO93_349	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,78	3,75	-0,793650794	3,765
2000	3,86	3,87	0,259067358	3,865
2200	3,7	3,81	2,972972973	3,755
2400	3,67	3,76	2,452316076	3,715
2600	3,65	3,76	3,01369863	3,705
CURVA B25				
ENSAIO 1: (TBS= 23°C) (TBU= 17°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 23°C) (TBU= 17°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_350	BIO93_351	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,7	3,73	0,810810811	3,715
2000	3,79	3,78	-0,263852243	3,785
2200	3,68	3,64	-1,086956522	3,66
2400	3,65	3,62	-0,821917808	3,635
2600	3,67	3,63	-1,089918256	3,65
CURVA B50				
ENSAIO 1: (TBS= 24°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,854 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 24°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,854 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_352	BIO93_353	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,56	3,58	0,561797753	3,57
2000	3,61	3,67	1,662049861	3,64
2200	3,48	3,52	1,149425287	3,5
2400	3,53	3,54	0,283286119	3,535
2600	3,47	3,5	0,864553314	3,485
CURVA B75				
ENSAIO 1: (TBS= 25°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,858 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 25°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,858 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_354	BIO93_355	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,52	3,54	0,568181818	3,53
2000	3,46	3,51	1,445086705	3,485
2200	3,34	3,3	-1,19760479	3,32
2400	3,42	3,43	0,292397661	3,425
2600	3,39	3,33	-1,769911504	3,36
CURVA B100				
ENSAIO 1: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 689 mmHg) (Dcomb= 0,864 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 689 mmHg) (Dcomb= 0,864 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_356	BIO93_357	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,5	3,53	0,857142857	3,515
2000	3,59	3,57	-0,557103064	3,58
2200	3,38	3,43	1,479289941	3,405
2400	3,36	3,34	-0,595238095	3,35
2600	3,25	3,29	1,230769231	3,27
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 28°C) (PBar= 688 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 688 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_358	BIO93_359	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,66	3,64	-0,546448087	3,65
2000	3,71	3,73	0,539083558	3,72
2200	3,62	3,69	1,933701657	3,655
2400	3,62	3,63	0,276243094	3,625
2600	3,6	3,62	0,555555556	3,61

Tabela A18 – Consumo Específico [g/kW.h] (Biodiesel de Dendê)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 22°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 24°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 22°C) (TBU= 16°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_348	BIO93_349	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	241,19	240,34	-0,352419255	240,765
2000	238,46	239,47	0,42355112	238,965
2200	246,4	246,2	-0,081168831	246,3
2400	252,21	253,84	0,646286824	253,025
2600	255,48	256,93	0,567559104	256,205
CURVA B25				
ENSAIO 1: (TBS= 23°C) (TBU= 17°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 23°C) (TBU= 17°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_350	BIO93_351	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	249,83	246,63	-1,280870992	248,23
2000	246,39	247,05	0,267868014	246,72
2200	253,51	252,78	-0,287957083	253,145
2400	259,93	258,09	-0,707882892	259,01
2600	258,83	261,72	1,116562995	260,275
CURVA B50				
ENSAIO 1: (TBS= 24°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,854 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 24°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,854 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_352	BIO93_353	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	255,97	258,87	1,132945267	257,42
2000	252,32	252,85	0,210050729	252,585
2200	255,95	254,48	-0,574330924	255,215
2400	262,58	264,08	0,571254475	263,33
2600	262,51	266,97	1,698982896	264,74
CURVA B75				
ENSAIO 1: (TBS= 25°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,858 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 25°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,858 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_354	BIO93_355	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	255,59	260,34	1,858445166	257,965
2000	253,77	256,01	0,882689049	254,89
2200	253,83	260,48	2,619863688	257,155
2400	264,6	267,79	1,205593348	266,195
2600	265,45	270,26	1,812017329	267,855
CURVA B100				
ENSAIO 1: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 689 mmHg) (Dcomb= 0,864 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 689 mmHg) (Dcomb= 0,864 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_356	BIO93_357	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	271,05	267,43	-1,335546947	269,24
2000	264,93	266,43	0,566187295	265,68
2200	273,22	269,99	-1,182197497	271,605
2400	273	276,18	1,164835165	274,59
2600	283,46	279,98	-1,227686446	281,72
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 28°C) (PBar= 688 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 688 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_358	BIO93_359	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	246,03	249,26	1,312848027	247,645
2000	243,01	248,33	2,189210321	245,67
2200	248,38	250,72	0,942104839	249,55
2400	255,44	256,95	0,591136862	256,195
2600	256,86	260,24	1,315891926	258,55

Tabela A19 – Níveis de Fumaça [UB] (Biodiesel de Dendê)

CURVA TESTEMUNHA DIESEL (INICIAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 22°C) (TBU= 15°C) (Tasp= 24°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 22°C) (TBU= 16°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 693 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_348	BIO93_349	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	4,7	4,4	-6,382978723	4,55
2000	4,7	4,4	-6,382978723	4,55
2200	4,3	4,2	-2,325581395	4,25
2400	4,1	4,2	2,43902439	4,15
2600	4,1	4,2	2,43902439	4,15
CURVA B25				
ENSAIO 1: (TBS= 23°C) (TBU= 17°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 23°C) (TBU= 17°C) (Tasp= 26°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,848 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_350	BIO93_351	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	4	3,9	-2,5	3,95
2000	3,9	3,9	0	3,9
2200	3,7	3,6	-2,702702703	3,65
2400	3,7	3,5	-5,405405405	3,6
2600	3,5	3,6	2,857142857	3,55
CURVA B50				
ENSAIO 1: (TBS= 24°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,854 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 24°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,854 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_352	BIO93_353	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	3,4	3,5	2,941176471	3,45
2000	3,4	2,9	-14,70588235	3,15
2200	2,8	2,9	3,571428571	2,85
2400	3,1	2,8	-9,677419355	2,95
2600	3	2,8	-6,666666667	2,9
CURVA B75				
ENSAIO 1: (TBS= 25°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,858 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 25°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 690 mmHg) (Dcomb= 0,858 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_354	BIO93_355	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	2,6	2,8	7,692307692	2,7
2000	2,4	2,6	8,333333333	2,5
2200	2,2	2,2	0	2,2
2400	2,4	2,4	0	2,4
2600	2,5	2,2	-12	2,35
CURVA B100				
ENSAIO 1: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 689 mmHg) (Dcomb= 0,864 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 25°C) (PBar= 689 mmHg) (Dcomb= 0,864 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_356	BIO93_357	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	2,4	2,4	0	2,4
2000	2,3	2,4	4,347826087	2,35
2200	2	1,9	-5	1,95
2400	2,1	2	-4,761904762	2,05
2600	2,2	2	-9,090909091	2,1
CURVA TESTEMUNHA DIESEL (FINAL)				
ENSAIO 1: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 28°C) (PBar= 688 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
ENSAIO 2: (TBS= 23°C) (TBU= 18°C) (Tasp= 27°C) (PBar= 688 mmHg) (Dcomb= 0,840 g/cm <sup>3</sup> ) (Tcomb= 30 °C) (V.M.= 50 ml) (Cilindrada= 668) (P.Bico= 180 atm) (Rmec= 0,74) (P.F.I.= 17°)				
	ENSAIO ( 1 )	ENSAIO ( 2 )	DIFERENÇA % ENTRE	MÉDIA ENTRE
ROTAÇÃO	BIO93_358	BIO93_359	REPETIÇÕES	REPETIÇÕES
1800	4,8	4,8	0	4,8
2000	4,6	4,6	0	4,6
2200	4,2	4,3	2,380952381	4,25
2400	4,2	4,3	2,380952381	4,25
2600	4,2	4,1	-2,380952381	4,15

## A5. PARÂMETROS PARA ANÁLISES DINAMOMÉTRICAS CICLO DIESEL

Parâmetros utilizados para a alimentação com dados específicos, dos sistemas convencionais, e programa ABT; para assim efetivar a correção de dados de entrada, e posterior análise de resultados dinamométricos através de gráficos gerados por médias aritméticas no Software *Microsoft Excel*:

- 1) Operador (Técnico de operação do sistema dinamométrico durante ensaio);
- 2) N° Dinamômetro (Número do dinamômetro utilizado nos ensaios);
- 3) R.T. (Relação de Transmissão dinamométrica);
- 4) Data (Data da realização dos ensaios em banco de prova);
- 5) Modelo (Modelo do Motor ensaiado no banco de prova);
- 6) Número (Número do Motor ensaiado no banco de prova);
- 7) N° Teste (Número do ensaio realizado no motor em banco de prova);
- 8) Curva (Tipo de Curva de Desempenho);
- 9) Cilindrada (Cilindrada total do Motor em  $\text{cm}^3$ );
- 10) Vol.C. (Volume da Câmara de Combustão em  $\text{cm}^3$ );
- 11) T.C. (Taxa de Compressão);
- 12) C.Útil (Curso Útil do Êmbolo do Motor ensaiado em mm);
- 13) Vol./Curso (Volume por Curso do Motor ensaiado em  $\text{mm}^3 / \text{curso}$ );
- 14) P.Bico (Pressão de Bico Injetor de combustível em atm);
- 15) Alt.Cm. (Altura da Câmara do Motor ensaiado em mm);
- 16) Ciclo (Ciclo de Operação do Motor);
- 17) P.F.I (Ponto Final de Injeção em graus);
- 18) P.I.I (Ponto Inicial de Injeção em graus);
- 19) RPM nom. (Rotação por Minuto Nominal do motor ensaiado - rpm);
- 20) RPM vz. (Rotação por Minuto em Vazio do motor ensaiado – rpm);
- 21) RPM motor (Rotações por Minuto – rpm, para os vários pontos estabelecidos);
- 22) RPM din. (Rotações por Minuto – rpm, para o dinamômetro);
- 23) Carga (Carga no dinamômetro em kgf);
- 24) **G.Cons.** (Grandeza de Consumo Específico, “T” – Tempo ou “M” – Massa);
- 25) Consumo (Consumo Específico em função do tempo);
- 26) **S.M.T.** (Sis. de Medição de Tempo em “C” – centesimal ou “S” – sexagesimal);

- 27) **TBS** (Temperatura de Bulbo Seco em °C);
- 28) **TBU** (Temperatura de Bulbo Úmido em °C);
- 29) **To** (Temperatura do Óleo do motor em °C);
- 30) **Te** (Temperatura de Escape em °C);
- 31) **Tasp** (Temperatura de Admissão ou Aspiração do motor em °C);
- 32) Tcomb (Temperatura do Combustível em °C);
- 33) Tarref in (Temp. do Líquido de Arrefecimento na entrada do sistema motriz em °C);
- 34) Tarref out (Temp. do Líquido de Arrefecimento na saída do sistema motriz em °C);
- 35) Poíl (Pressão do Óleo do Motor em kg/cm<sup>2</sup>);
- 36) **PBar** (Pressão Atmosférica ou Barométrica Local em mbar ou mmHg, no caso da região de Caxias do Sul, que em média está a 760 metros acima do nível do mar, fica o valor de 927 mbar ou 695 mmHg);
- 37) **Rmec** (Rendimento Mecânico, no valor de 0,74, como padrão alemão);
- 38) **Dcomb** (Densidade do Combustível em g/cm<sup>3</sup>);
- 39) **Cc** (Constante de Consumo em cm<sup>3</sup>/s);
- 40) **UB** (Unidade Bosch);
- 41) **B-By** (Efeito Blow – by do motor ensaiado);

**Obs:** É importante verificar, que todos os valores acima destacados em negrito são fixos, para todas as condições de ensaios no banco de prova dinamométrico. Durante a realização de todos os testes dinamométricos, estes valores são conhecidos no programa ABT como Condições do Teste. Considerar-se-á também, que os valores sublinhados são opcionais, conforme o tipo de ensaio, de motor e condições de análise. Estes valores na maioria dos casos podem ser desconsiderados. O programa ABT, através de seus sensores pode capturar até 32 sinais diferentes no processo de ensaios em bancada dinamométrica.