PROJETO DE GRADUAÇÃO

ANÁLISE DE PERFORMANCE DE BIODIESEL PRODUZIDO A PARTIR DO ÓLEO DE FRITURA OBTIDO NA MICRO USINA UNB-FGA

Por,

Leonardo Gouvêa Bechara
Welington Alencar Borges

Brasília, 10 de julho de 2013

UNIVERSIDADE DE BRASILIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

ANÁLISE DE PERFORMANCE DE BIODIESEL PRODUZIDO A PARTIR DO ÓLEO DE FRITURA OBTIDO NA MICRO USINA UNB-FGA

POR,

Leonardo Gouvêa Bechara
Welington Alencar Borges

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. Taygoara Felamingo de Oliveira, UnB/ ENM (Orientador) _____

Prof. Maria Del Pilar Hidalgo Falla, UnB/ FGA (Coorientadora) _____

Prof. Mario Benjamim Baptista de Siqueira, UnB/ ENM _____

Brasília, 10 de Julho de 2013

Agradecimentos

Agradecemos a todos os envolvidos neste projeto. Principalmente ao nosso orientador Taygoara de Oliveira e nossa co-orientadora Maria Del Pilar. Ao professor Mario Siqueira, Mestre Euripedes, Felipe, Wesley.

Gostariamos de agradecer também as pessoas que nos ajudaram e apoiaram na realização desse projeto. Laurete, Danilão, Rafaela e Toninho.

Leonardo Gouvêa Bechara e Welington Alencar Borges

Agradeço este projeto primeiramente a Deus e a minha amada família, mãe, pai e irmão a qual sempre esteve do meu lado em todos os momentos da minha vida. Aos meus grandes amigos, os quais posso chamar também de irmãos, que sempre me ajudaram a expandir minha ideias e me incentivaram a sempre procurar fazer o melhor.

Aos meus avôs, avós, tios, tias, madrinha, padrinho, primos e primas que apesar da distancia sempre mantiveram a fé sobre mim. Dedico também aos amigos que fiz durante os anos de curso que me ajudaram e me apoiaram, passando por muitas dificuldades mais sempre saindo vitoriosos. Amigos que sempre poderei contar e levarei por toda a vida.

"Que o teu trabalho seja perfeito para que, mesmo depois da tua morte, ele permaneça."

Leonardo Gouvêa Bechara

A gratidão é um ato de reconhecimento que vem acompanhado de um desejo de agradecer. Agradecer àqueles que me motivaram e incentivaram, àqueles que acompanharam de perto ou mais ao longe, àqueles que trouxeram confiança, àqueles que trouxeram tribulações, dentre outros. Agradeço, a priori, a Deus, meu Pai Celestial, a Quem eu confio e sempre terei ao meu lado. A toda minha família que esteve ao meu lado, me ergueu, me colocou em luta - luta por uma vida melhor - e moldou o meu caráter. Em especial, meus pais, Anselmo e Rosângela, e ao meu avô Welington B. Rosa (in memoriam). Aos meus amigos, companheiros de vida, aos quais construí mais que um momento de parceria, um verdadeiro laço de amizade e irmandade. Caros, vocês, simplesmente, me ensinaram o quão longe eu posso ir e me inspiraram com toda a força de vontade que vocês têm em vencer. Sou grato a vocês.

Maria Hill: "Quando você se tornou um especialista em astrofísica nuclear?"

Tony Stark: "Ontem a noite"

Welington Alencar Borges

RESUMO

Com a crescente demanda, além do aumento nos preços dos combustíveis fósseis e da preocupação ambiental, outras fontes de energia, como as renováveis, vêm ganhando força na matriz energética de diversos países. O biodiesel se tornou uma solução eficiente dentro deste contexto. Para tanto, apresenta-se neste estudo uma avaliação do desempenho, em um motor Ciclo Diesel, do Biodiesel a partir do Óleo de Fritura nas mais variadas proporções de misturas com o Óleo Diesel. Para cada mistura serão feitas medições, a partir de uma Bancada de Ensaios (localizada na Universidade de Brasília), de potência, do consumo de combustível e das emissões de gases poluentes. Os resultados serão comparados com o Óleo Diesel puro. Para validação e confiabilidade dos ensaios, a metodologia utilizada será apresentada.

Termos para indexação: Biodiesel, Ciclo Diesel, FGA, Micro Usina, Óleo Diesel, Universidade de Brasília.

ABSTRACT

Owing to rising demand, in addition to the increase in fossil fuel prices and environmental concern, alternative energy sources, such as the renewable ones, are gaining force among the energy matrix of assorted countries. Into this context, Biodiesel has become an efficient solution. To this end, the following study presents a research, based on a Diesel Cycle engine, on Biodiesel from frying oil in various mixtures in different proportion with Diesel oil. For each mixture will be made, from a Test Bench (located at the University of Brasilia), power, fuel consumption and emissions of polluting gases measurements. The results will be compared with pure Diesel oil. In order to assess the *validity and reliability* of the assays, the methodology will be addressed.

Index Terms: Biodiesel, Diesel Cycle, FGA, Micro Power Plant, Diesel Oil, University of Brasilia.

SUMÁRIO

SUMÁRIO v

LISTAS DE FIGURAS viii

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 PANORAMA ATUAL 1

1.1.1 COMPETITIVIDADE DOS MOTORES A DIESEL 1

1.1.2 PERSPECTIVAS FUTURAS 1

1.2 OBJETIVOS 2

1.2.1 OBJETIVOS GERAIS 2

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2

2. RESUMO TEÓRICO 3

2.1 CICLO DIESEL 3

2.2 DINAMÔMETRO 6

2.3 EMISSÕES 8

3. COMBUSTÍVEIS 11

3.1 BIOCOMBUSTÍVEIS 13

3.1.1 BIODIESEL 14

3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS 14

3.2.1 VANTAGENS 14

3.2.2 DESVANTAGENS 15

3.3 LEGISLAÇÃO 16

3.4 DEMANDA DE BIODIESEL 16

3.5 DIESEL S50, S10 E ÓLEO DE FRITURA 17

3.6 ADITIVOS 120

4. METODOLOGIA E APARATO EXPERIMENTAL 19

4.1 BANCADA DE ENSAIO DO DINAMÔMETRO 19

4.2 MOTOR UTILIZADO 20

4.2.1 CARACTERÍSTICAS DO MOTOR 20

A) IGNIÇÃO DO MOTOR 21
B) SISTEMA DE ARREFECIMENTO 22
C) SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO 22
D) SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DO MOTOR 22
E) SISTEMA DE EXAUSTÃO 23
4.3 APARATO RESISTIVO 24
4.3.1 CAIXA DE COMANDO 24
4.3.2 APARELHO DE AQUISIÇÃO DE DADOS 24
4.3.3 BANCO DE RESISTÊNCIAS DISSIPATIVAS 25
4.3.4 MONTAGEM DO EQUIPAMENTO 27
4.4 ANÁLISE DOS GASES DE EXAUSTÃO 27
4.5 DINAMÔMETRO ELÉTRICO 29
5. MICRO USINA DE BIODIESEL 32
5.1 PRODUÇÃO DE BIODIESEL NA ROTA METÍLICA 33
5.2 PRODUÇÃO MANUAL DE BIODIESEL 36
6. METODOLOGIA DOS TESTES 37
7. AQUISIÇÃO DE DADOS 38
7.1 METODOLOGIA DOS ENSAIOS 38
A) ROTAÇÃO DO MOTOR 38
B) RETIRADA DO COMBUSTÍVEL ANTIGO 40
7.2 MEDIÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL 41
7.3 APLICAÇÃO DE CARGAS RESISTIVAS 42
8. RESULTADOS 43
8.1 ANALISE DAS MISTURAS E DO BIODIESEL PURO 43
8.2 RESULTADO DA POTÊNCIA DE ATRITO 44
8.2.1 TESTE DE MORSE 44
8.2.2 MÉTODO DA LINHA DE WILLIAN 44
8.3 RESULTADO DOS TESTES 46
8.3.1 B5 COMERCIAL 46

8.3.2 B0 (DIESEL PURO) 53

8.3.3 B5 (MISTURA DE 5% DE BIODIESEL EM ÓLEO DIESEL PURO) 57

8.3.4 B10 (MISTURA DE 10% DE BIODIESEL EM ÓLEO DIESEL PURO) 60

8.3.5 B15 (MISTURA DE 15% DE BIODIESEL EM ÓLEO DIESEL PURO) 64

8.3.6 B20 (MISTURA DE 20% DE BIODIESEL EM ÓLEO DIESEL PURO) 67

8.3.7 B25 (MISTURA DE 25% DE BIODIESEL EM ÓLEO DIESEL PURO) 71

8.3.8 B50 (MISTURA DE 50% DE BIODIESEL EM ÓLEO DIESEL PURO) 74

8.3.9 B75 (MISTURA DE 75% DE BIODIESEL EM ÓLEO DIESEL PURO) 78

8.3.10 B100 (BIODIESEL PURO) 81

8.4 PANORAMA GERAL DOS TESTES 84

8.5 ROTAÇÃO DO MOTOR 94

8.6 RENDIMENTO MECÂNICO 95

9. DISCUSSÃO 96

10. CONCLUSÃO 98

11. PROPOSTAS FUTURAS 99

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 100

13. APÊNDICE 102

13.1 APÊNDICE 1: CRONOGRAMA DE ATIVIDADES DO PROJETO DE GRADUAÇÃO. 102

13.2 APÊNDICE 2: TABELAS DE POTÊNCIA, CONSUMO DOS COMBUSTIVÉIS E EMISSÕES 103

13.3 APÊNDICE 3: TABELAS DE CALCULO PARA RENDIMENTO MECÂNICO DE CADA COMBUSTÍVEIS 116

13.4 APENDICE 4: DEMOSTRATIVO DE ESPECTROS CARCTERÍSTICOS DE MISTURAS (DIESEL E BIODIESEL) E BIODIESEL PURO 119

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Diferença do Ciclo Otto e Ciclo Diesel em diferentes pressões finais 5

Figura 2: Ciclo Diesel 6

Figura 3 - Exemplificação do dinamômetro 7

Figura 4 - Evolução do Biocombustível. Fonte: (ANP, 2012). 13

Figura 5 - Motor e dinamômetro 19

Figura 6 - Esquema da bancada do motor 20

Figura 7 - Injeção direta 20

Figura 8 - Quadro de acionamento elétrico 21

Figura 9 - Válvula para abertura da injeção 21

Figura 10 - Vistas do sistema de arrefecimento 22

Figura 11 - Sistema de alimentação do motor 23

Figura 12 - Sistema de escapamento desmontado 23

Figura 13 - Caixa de comando 24

Figura 14 - Aparelho de aquisição de dados 25

Figura 15 - Resistências dissipativas, Fonte: www.slolostocks.com.br 25

Figura 16 - Resistência antes (acima) e depois (abaixo) do processo de lavagem. 26

Figura 17 – Caixa de Resistências antes da reestruturação 26

Figura 18 – Aparelho medidor de emissões AVL 4000 DICOM 28

Figura 19 - Posição da sonda para coleta de gases 29

Figura 20 - Método da linha de Willian, Fonte: (Rajput, 2007) 31

Figura 21 - Interior da Micro usina de Biodiesel 33

Figura 22 - Processos da obtenção do biodiesel 34

Figura 23 - Processo de purificação do Biodiesel (Noureddini, 2001) 35

Figura 24 - Aparato experimental para produção manual de Biodiesel. 36

Figura 25 - As diferentes etapas do processo de obtenção do Biodiesel. 37

Figura 26 - Instalação do sensor magnético 38

Figura 27 - Osciloscópio Digital 39

Figura 28 - Leitura do motor 39

Figura 29 - Componentes da bomba injetora 40

Figura 30 - Balança digital 41

Figura 31 - Chaves para acionamento das resistências. 42

Figura 32 - Bandas características das misturas de biodiesel e do biodiesel puro 43

Figura 33 – B5 Comercial, exemplo para o Método da Linha de Willian. 45

Figura 34 - Aplicação do Método da Linha de Willian, B5 Comercial. 45

Figura 35 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B5 Comercial. 48

Figura 36 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B5 Comercial. 49

Figura 37 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B5 Comercial. 50

Figura 38 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B5 Comercial. 51

Figura 39 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B5 Comercial. 51

Figura 40 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B5 Comercial. 52

Figura 41 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B5 Comercial. 52

Figura 42 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B0. 53

Figura 43 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B0. 54

Figura 44 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B0. 54

Figura 45 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B0. 55

Figura 46 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B0. 55

Figura 47 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B0. 56

Figura 48 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B0. 56

Figura 49 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B5. 57

Figura 50 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B5. 57

Figura 51 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B5. 58

Figura 52- Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B5. 58

Figura 53 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B5. 59

Figura 54 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B5. 59

Figura 55 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B5. 60

Figura 56 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B10. 60

Figura 57 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B10. 61

Figura 58 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B10. 61

Figura 59 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B10. 62

Figura 60 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B10. 62

Figura 61 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B10. 63

Figura 62 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B10. 63

Figura 63 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B15. 64

Figura 64 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B15. 64

Figura 65 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B15. 65

Figura 66 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B15. 65

Figura 67 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B15. 66

Figura 68 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B15. 66

Figura 69 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B15. 67

Figura 70 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B20. 67

Figura 71 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B20. 68

Figura 72 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B20. 68

Figura 73 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B20. 69

Figura 74 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B20. 69

Figura 75 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B20. 70

Figura 76 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B20. 70

Figura 77 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B25. 71

Figura 78 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B25. 71

Figura 79 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B25. 72

Figura 80 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B25. 72

Figura 81 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B25. 73

Figura 82 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B25. 73

Figura 83 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B25. 74

Figura 84 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B50. 74

Figura 85 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B50. 75

Figura 86 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B50. 75

Figura 87 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B50. 76

Figura 88 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B50. 76

Figura 89 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B50. 77

Figura 90 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B50. 77

Figura 91 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B75. 78

Figura 92 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B75. 78

Figura 93 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B75. 79

Figura 94 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B75. 79

Figura 95 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B75. 80

Figura 96 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B75. 80

Figura 97 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B75. 81

Figura 98 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B100. 81

Figura 99 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B100. 82

Figura 100 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B100. 82

Figura 101 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B100. 83

Figura 102 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B100. 83

Figura 103 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B100. 84

Figura 104 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B100. 84

Figura 105 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, Total. 86

Figura 106 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, Total. 87

Figura 107 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, Total. 89

Figura 108 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, Total. 90

Figura 109 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, Total. 92

Figura 110 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, Total. 93

Figura 111 - Potência de Eixo pelo Rendimento Mecânico, para cada combustível. 95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nomenclatura adotada para as misturas de combustíveis. 3

Tabela 2 - Limites máximos de emissão de poluentes para a fase do PROCONVE L6 10

Tabela 3 - Limites das emissões para veículos pesados a Diesel, Fonte: PROCONVE 11

Tabela 4 - Densidade e Poder Calorífico Superior..... 12

Tabela 5 - Crescimento de consumo de Biodiesel nas regiões..... 17

Tabela 6 - AVL Série 4000 DICOM - Parâmetros de medição 28

Tabela 7 - Potência de Eixo para diferentes quantidades de pistões. 44

Tabela 8 - Rotação por minuto pela quantidade de pistões funcionando..... 44

Tabela 9- Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B5 Comercial. 46

Tabela 10 - Potência Indicada, B5 Comercial..... 47

Tabela 11 - Medição de consumo de combustível, B5 Comercial. 47

Tabela 12 - Tabela de emissões para B5 Comercial. 50

Tabela 13 - Consumo Médio para cada combustível em cada carga de trabalho..... 85

Tabela 14 - Melhores e piores valores de Consumo Médio das misturas. 85

Tabela 15 - Consumo Específico para cada combustível em cada carga de trabalho. 86

Tabela 16 - Melhores e piores valores de Consumo Específico das misturas..... 87

Tabela 17 - Emissão de CO para cada combustível em cada carga de trabalho. 88

Tabela 18 - Melhores e piores valores de Emissão de CO das misturas. 88

Tabela 19 - Emissão de COc para cada combustível em cada carga de trabalho..... 89

Tabela 20 - Melhores e piores valores de Emissão de COc das misturas. 90

Tabela 21 - Emissão de CO2 para cada combustível em cada carga de trabalho. 91

Tabela 22 - Melhores e piores valores de Emissão de CO2 das misturas. 91

Tabela 23 - Emissão de HC para cada combustível em cada carga de trabalho. 92

Tabela 24 - Melhores e piores valores de Emissão de HC das misturas. 93

Tabela 25 - Rotação do motor para cada combustível em cada carga de trabalho..... 94

Tabela 26 - Máxima e mínima rotação de trabalho do motor durante todos os testes. 94

Tabela 27 - Cronograma de atividades experimentais - PG1. 102

Tabela 28 - Cronograma de atividades experimentais - PG2. 102

Tabela 29 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B0. 103

Tabela 30 - Medição de consumo de combustível, B0. 103

Tabela 31 - Tabela de emissões para B0. 104

Tabela 32 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B5. 104

Tabela 33 - Medição de consumo de combustível, B5. 105

Tabela 34- Tabela de Emissões para B5. 105

Tabela 35 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B10. 105

Tabela 36 - Medição de consumo de combustível, B10. 106

Tabela 37 - Tabela de Emissões para B10. 106

Tabela 38 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B15. 107

Tabela 39 - Medição de consumo de combustível, B15. 107

Tabela 40 - Tabela de Emissões para B15. 108

Tabela 41 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B20. 108

Tabela 42 - Medição de consumo de combustível, B20. 109

Tabela 43 - Tabela de Emissões para B20. 109

Tabela 44 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B25 110

Tabela 45- Medição de consumo de combustível, B25. 110

Tabela 46 - Tabela de Emissões para B25. 111

Tabela 47 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B50 111

Tabela 48- Medição de consumo de combustível, B50. 112

Tabela 49 - Tabela de Emissões para B25. 112

Tabela 50 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B75 113

Tabela 51- Medição de consumo de combustível, B75. 113

Tabela 52 - Tabela de Emissões para B75. 114

Tabela 53 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B100 114

Tabela 54- Medição de consumo de combustível, B100. 115

Tabela 55 - Tabela de Emissões para B100. 115

Tabela 56 - Tabela de cálculo para o rendimento mecânico 116

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

bhp	Brake Horse-Power	[kW]
c_p	Calor Específico a pressão constante	[kJ/kg.K]
c_v	Calor Específico a volume constante	[kJ/kg.K]
fhp	Friction Horse-Power	[kW]
ihp	Indicated Horse-Power	[kW]
N	Rotação	[RPM]
m	Massa	[kg]
PCI	Poder Calorífico Inferior	[kcal/L]
PCS	Poder Calorífico Superior	[kcal/L]
R	Braço de Alavanca	[m]
r_c	Razão de corte	
r_v	Razão de compressão	
sfc	Taxa de combustível consumido por unidade de potência fornecida	[g/kWh]
T	Torque	[J]
V	Volume	[m^3]
W	Potência	[W]

Símbolos Gregos

η_m	Rendimento Mecânico

Subscrito

PMS	Ponto Morto Superior
PMI	Ponto Morto Inferior

Sobrescritos

$\bar{}$	Variação Média
'	Variação Temporal

Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas

Anfavea Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANP Associação Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

B0 Diesel Puro

B5 Comercial Biodiesel Comercial

B5 Mistura de 5% de Biodiesel ao diesel comercial

B10 Mistura de 10% de Biodiesel ao diesel puro

B15 Mistura de 15% de Biodiesel ao diesel puro

B20 Mistura de 20% de Biodiesel ao diesel puro

B25 Mistura de 25% de Biodiesel ao diesel puro

B50 Mistura de 50% de Biodiesel ao diesel puro

B75 Mistura de 75% de Biodiesel ao diesel puro

B100 Biodiesel Puro

CEO Colégio Estadual Ocidental

CNPE Conselho Nacional de Politica Energética

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

EPA Agência de Proteção Ambiental

EPE Empresa de Pesquisa Energética

FGA Faculdade do Gama/Universidade de Brasília

IEA Agência Internacional de Energia

PROCONVE Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

S10 Óleo diesel com 10mg/kg de Enxofre

S50 Óleo diesel com 50mg/kg de Enxofre

S500 Óleo diesel com 500mg/kg de Enxofre

S1800 Óleo diesel com 1800mg/kg de Enxofre

SUV Sevice Utility Vehicles

1. INTRODUÇÃO

1.1 PANORAMA ATUAL

1.1.1 Competitividade dos motores a Diesel

A proibição do uso de automóveis de Ciclo Diesel no Brasil foi implantada através da portaria 346 de 19 de novembro de 1976 pelo Ministério da Indústria e Comércio com o argumento de que esse combustível era o motor da economia nacional e, portanto, deveria ser reservado ao transporte de bens, leiam-se caminhões e transporte público, em um momento em que a balança de pagamentos era crítica e puxada pela importação do petróleo e o perfil de refino primava pela produção de derivados leves. Daquela época até hoje, as mudanças econômicas, sociais e tecnológicas foram muito grandes, mas a proibição dos automóveis Ciclo Diesel continua, com exceções, como os veículos utilitários (SUV[1]).

Em termos de conforto e potência, os veículos Ciclo Diesel foram se aproximando dos motores a ignição e chegam hoje a superá-los. Nos automóveis a utilização de materiais avançados para isolamento acústico e vibracional do trem-de-força trouxe um nível de conforto que elevou o motor a Diesel aos automóveis esportivos e aos de altíssimo luxo. Os sistemas de pós-tratamento dos gases de escapamento foram introduzidos na medida em que evoluíam os limites de emissões (vide seção 2.3Emissões).

De fato um grande problema dos motores Ciclo Diesel antigos era a emissão de fumaça preta. Porém com a evolução tecnológica ela foi sendo reduzida. Os níveis de emissões caíram a valores muito baixos, especialmente de material particulado e óxidos de nitrogênio, atendendo aos limites dos mais modernos motores Ciclo Otto com injeção direta. No mercado europeu, o motor Ciclo Diesel nos automóveis se firmou como a propulsão mais eficiente e de menor impacto ambiental.

O controle e a redução do aquecimento global por efeito estufa tem no motor Ciclo Diesel um grande aliado. O elevado rendimento energético dá a ele posição de destaque dentre os meios de propulsão comercialmente disponíveis. Devido a essa eficiência, se gasta menos combustível, emitindo assim menos CO_2 (que não é poluente, mas é o gás mais importante no efeito estufa). Os padrões de emissões do CO_2 dos motores Ciclo Diesel se enquadram nos mais rígidos limites.

1.1.2 Perspectivas Futuras

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2011), mesmo que haja um esforço na redução da participação de recursos energéticos de origem fóssil na matriz energética mundial (petróleo, gás e carvão), que juntos respondem por 80% do consumo de energia global, uma nova fonte energética

[1] Do inglês Service Utilitary Vehicles (SUV)

renovável deveria ser capaz de proporcionar autonomia, versatilidade e proporção suficientes para manter o atual crescimento econômico.

Com esse aumento no nível de preços e a crescente demanda, especialistas estimam que, considerando os reservatórios conhecidos atualmente e o consumo, as reservas de petróleo só são suficientes para cerca de 40 anos, o que acaba incentivando a busca por outras fontes de energia e poços de petróleo. Além disso, com as crises do petróleo nos anos 70, passou-se a questionar o modelo de desenvolvimento adotado, que é baseado no consumo intensivo dos recursos energéticos não renováveis, cujos preços tiveram um aumento significativo (Goldemberg & Lucon, 2007).

Com o intuito de reduzir a dependência dos países exportadores do petróleo algumas nações começaram a incentivar a pesquisa e o desenvolvimento (P&D) de novas fontes energéticas entre elas os Biocombustíveis (Ángyán, 2003).

O Biodiesel se tornou uma solução eficiente em relação à degradação do meio ambiente. Esse Biocombustível além de ter a vantagem em não possuir enxofre na sua composição tem como outro ponto positivo ser um combustível que já é considerado presente no ciclo de carbono, ou seja, não é retirado do subsolo como é o caso do petróleo em que devolve o carbono depositado no solo ao ciclo de carbono.

O Biodiesel de óleo de fritura tem apresentado bons resultados e já faz parte da matriz energética de alguns países, entretanto, como a maioria dos combustíveis existentes apresentam seus prós e contras. O biodiesel apresenta uma melhora nas questões de emissões e de lubrificação do motor, porem uma piora no consumo devido a quantidade energética contido nele.

Com base nesses dados o trabalho apresentará diferentes misturas de biodiesel e óleo diesel puro para poder estabelecer uma quantidade que não aumentasse tanto o consumo porem diminuindo significativamente as emissões.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

Avaliar a influência de diferentes concentrações de Biodiesel em misturas Diesel/Biodiesel no consumo específico, na potência de eixo e nas emissões de motores do Ciclo Diesel.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo acima as metas foram cumpridas.

i. Manutenção do motor Diesel situado no laboratório do Bloco G:
   - Limpeza dos filtros de combustível e montagem da tubulação do escapamento;
   - Limpeza do motor;
   - Reestruturação da caixa de resistência;

- Verificação do fechamento elétrico da caixa de comando e da caixa de resistência;

ii. Instalação do sensor indutivo de rotação eletromagnético para se estabelecer a rotação do motor;

iii. Instalação do aparato de emissões na tubulação de escapamento do motor;

iv. Fazer os testes com o B5 Comercial (Óleo Diesel comercial), aplicando carga no motor para estabelecer o consumo específico de combustível em diferentes potências;

v. Sintetizar o Biodiesel por meio da rota metílica;

vi. Preparar as misturas de Óleo Diesel e de Biodiesel, sendo as misturas utilizadas B0, B5 Comercial, B5, B10,B15, B20, B25, B50, B75, B100. Exemplo, B10 é uma mistura com 10% de Biodiesel de óleo de fritura e 90% de Diesel (vide Tabela 1);

vii. Utilizar as misturas de combustível no motor em diferentes cargas a uma mesma rotação para se analisar o consumo específico em diferentes cargas;

viii. Obter as emissões (CO, CO_2,HC) para cada mistura de combustível;

ix. Obter as curvas de consumo específico de combustível pela potência de eixo e compará-los;

x. Obter a curva de rendimento mecânico para cada mistura.

Tabela 1 - Nomenclatura adotada para as misturas de combustíveis.

Denominação	Composição
B0	100% de Óleo Diesel convencional
B5 Comercial	5% de Biodiesel e 95% de Diesel (comercial)
B5	5% de Biodiesel de óleo de fritura e 95% de Diesel (manipulado laboratório)
B10	10% de Biodiesel de óleo de fritura e 90% de Diesel
B15	15% de Biodiesel de óleo de fritura e 85% de Diesel
B20	20% de Biodiesel de óleo de fritura e 80% de Diesel
B25	25% de Biodiesel de óleo de fritura e 75% de Diesel
B50	50% de Biodiesel de óleo de fritura e 50% de Diesel
B75	75% de Biodiesel de óleo de fritura e 25% de Diesel
B100	100% de Biodiesel de óleo de fritura

2. RESUMO TEÓRICO

2.1 CICLO DIESEL

O Ciclo Diesel é semelhante ao Ciclo Otto com relação à sequência de operação, porém, apresenta algumas exceções como a alta razão de compressão a ser usada e a do fato de ser puro (isento de combustível) o ar introduzido no cilindro durante o curso de aspiração. A rápida compressão do ar, no ciclo Diesel, na câmara do cilindro possibilita o ar aspirado elevar sua temperatura de modo a

possibilitar a auto-ignição do combustível. Diferente do ciclo Otto (com carburador) onde a compressão acontece com uma mistura de ar e combustível, sendo a combustão causada por uma centelha. (Obert, 1971)

Uma das maiores diferenças termodinâmicas entre os dois ciclos (Otto e Diesel) acontece na injeção de calor no sistema. No Ciclo Otto a injeção de calor acontece na hora da combustão, ou seja, no momento em que a centelha ativa a reação entre o ar e combustível, podemos idealizar que o momento da combustão se dá a um volume constante, ou seja, na proporção de c_v (calor específico a volume constante).

No Ciclo Diesel a injeção de calor (nesse caso o combustível) é sob pressão constante, ou seja, na proporção de c_p (calor específico a pressão constante). Isso se deve ao combustível ser injetado no motor no momento em que se tem a pressão máxima, sendo necessária uma injeção gradual para que se tenha uma combustão completa. Para isso precisa-se de tempo, o que não poderia ser feito a volume constante.

Assim, tem-se definido para um motor Ciclo Diesel a razão de corte, que é a razão entre o volume em que se começa a injeção (V_3) do combustível até o volume em que termina a injeção (V_4), dada como:

$$r_c = \frac{V_3}{V_4}$$

Como a injeção deve ser gradual e por meio de uma bomba injetora (para vencer a pressão do ar dentro da câmara de combustão), temos que ter um motor com baixa rotação. Com uma baixa rotação (velocidade angular) temos que a geometria eixo excêntrico (virabrequim), biela/manivela e o maior curso do pistão compensam o motor com maior torque.

Devido a essas condições de cada ciclo temos que para uma mesma razão de compressão e uma mesma adição de calor o ciclo Otto é mais eficiente que o ciclo Diesel, porém, devido a sua alta taxa de compressão o Ciclo Diesel consegue trabalhar numa pressão máxima maior o que o torna mais eficiente, pois menos calor é rejeitado. Nota-se que para atingir essa supremacia, o Ciclo Diesel deve operar à razão de compressão mais elevada que o Ciclo Otto, o que é uma condição usual (Obert, 1971).

A figura abaixo (apenas ilustrativa) mostra como o Ciclo Diesel é mais eficiente do que o Ciclo Otto em altas taxas de pressão (quando se tem uma taxa de compressão maior). A área de dentro do ciclo determina o trabalho útil de cada ciclo.

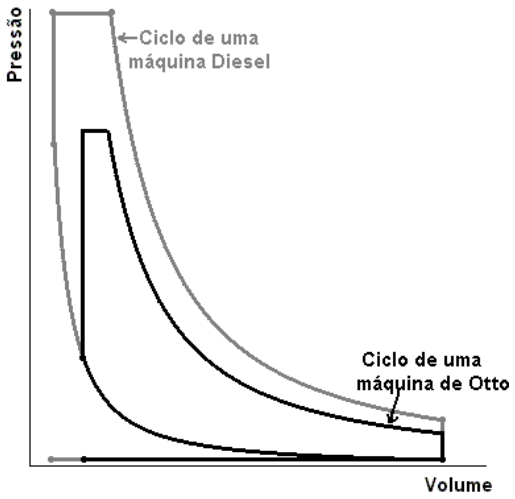


Figura 1 - Diferença do Ciclo Otto e Ciclo Diesel em diferentes pressões finais

Na maioria das aplicações, os motores Ciclo Diesel funcionam em quatro tempos. O ciclo de um motor quatro tempos se dá em cinco operações, sendo eles:

1) O ciclo inicia-se com o êmbolo no Ponto Morto Superior (PMS). A válvula de admissão está aberta e o êmbolo ao descer aspira o ar para dentro do cilindro.
2) O êmbolo atinge o Ponto Morto Inferior (PMI) e inicia-se então a compressão. Para motores Ciclo Diesel a taxa de compressão varia de 15:1 a 25:1. A temperatura do ar dentro do cilindro aumenta substancialmente devido ao processo de compressão. Idealmente esse processo é isentrópico.

   A taxa de compressão é dada pela razão dos volumes máximos e mínimos, ou seja:

$$r_v = \frac{V_{PMI}}{V_{PMS}}$$

3) Pouco antes do PMS o combustível começa a ser pulverizado pelo injetor em finas gotículas, misturando-se com o ar quente até que se dá a combustão.

   A injeção em motores de Ciclo Diesel se dá por meio de gotículas de combustível, por isso que a admissão de combustível tem que acontecer certo tempo antes do PMS para dar tempo do Diesel evaporar e conseguir preencher a câmara, assim atingindo a quantidade perfeita para a mistura (ar + combustível) e consequentemente uma boa combustão.

   A combustão é controlada pela taxa de injeção de combustível, ou seja, pela quantidade de combustível que é injetado.
4) A expansão começa após o PMS do êmbolo com a mistura (ar + combustível) na proporção certa para a combustão espontânea, onde o combustível continua a ser pulverizado até momentos antes do PMI.
5) O ciclo termina com a fase de exaustão, quando o êmbolo retorna ao PMS, o que faz com que os gases de combustão sejam expulsos do cilindro, retomando assim o ciclo.

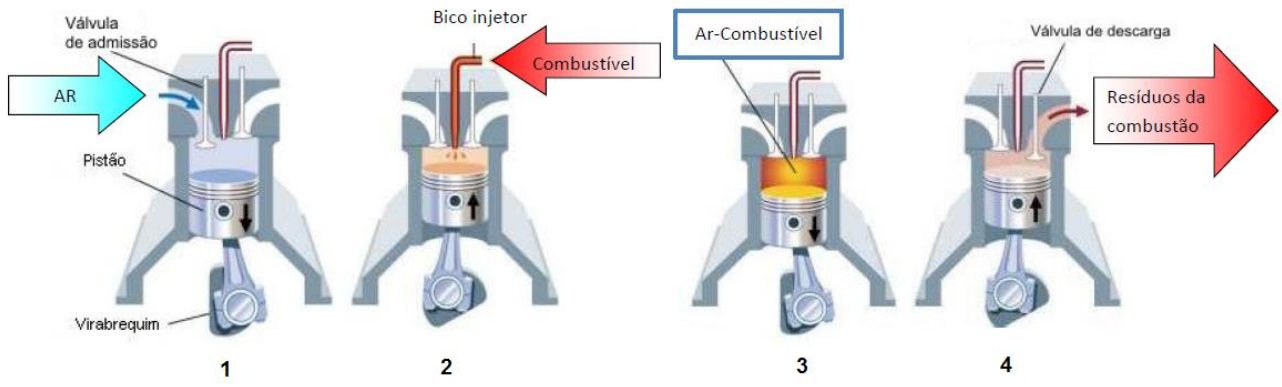


Figura 2: Ciclo Diesel

a) As principais diferenças técnicas entre um motor de Ciclo Otto e um motor Ciclo Diesel são:

Enquanto o motor a gasolina (Ciclo Otto) funciona com a taxa de compressão que varia de 8:1 a 12:1, o motor a Ciclo Diesel trabalha numa taxa de compressão de 15:1 a 25:1. Devido a essa grande diferença de volume (entre o PMS e PMI) os motores de Ciclo Diesel são mais robustos e apresentam um alto torque.

O motor Ciclo Otto admite (admissão - 1º tempo) a mistura ar/combustível para o cilindro, o motor Ciclo Diesel aspira (aspiração 1º tempo) apenas ar.

A ignição dos motores Otto dá-se a partir de uma faísca elétrica fornecida pela vela de ignição antes da máxima compressão na câmara de explosão (> a 400ºC). Já no motor Diesel a combustão ocorre quando o combustível é injetado e imediatamente inflamado pelas elevadas temperaturas (> a 600ºC) devido ao ar fortemente comprimido na câmara de combustão.

Os motores Ciclo Diesel, como já citado, apresentam altas taxas de compressão e para uma mesma adição de calor um maior rendimento mecânico. O motor Diesel tem um rendimento mecânico excelente, normalmente, entre 38% e 47%. Para um motor a gasolina esse valor chega a 27% e para um motor a álcool chega a 34% (Andorno, 2007).

Os motores Ciclo Diesel são mais lentos em termos de aceleração. Isso se deve a rotação máxima mais baixa, ou seja, possui um torque mais elevado do que alta potência. São mais barulhentos e transmitem mais vibrações

2.2 DINAMÔMETRO

Dinamômetro é o equipamento capaz de medir a potência e o torque de um motor em suas diversas condições de funcionamento.

Para uma melhor ideia do funcionamento de um dinamômetro um bom exemplo é um dispositivo mais antigo, utilizado até os dias de hoje para medir a potência do motor. Ele é constituído por um volante circundado por uma cinta conectada a um braço cuja extremidade se apoia sobre a plataforma

de uma balança. O volante, acionado pelo motor, tem o seu movimento restringido pela pressão aplicada à cinta (atuando como um freio), que transmite o esforço ao braço apoiado sobre a balança. A partir das leituras da balança, calcula-se o esforço despendido pelo motor. Esse dispositivo é conhecido como FREIO DE PRONY. O cálculo da potência do motor se faz considerando:

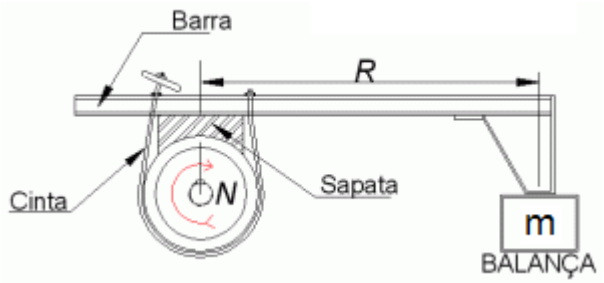


Figura 3 - Exemplificação do dinamômetro

$$Potência = W = 2 * \pi * N * m * R$$

Onde: m = o produto de leitura da balança (em kg);

R = Valor do braço da alavanca (em m);

N = Rotação do motor (em RPM)

O torque gerado pelo Freio de Prony é dado por:

$$T = m * R$$

O Freio de Prony é barato, simples de manejar e muito fácil de construir, porém, é um dispositivo antigo e apresenta alguns inconvenientes operacionais, destacando-se entre eles a dificuldade de manter a carga constante para altas rotações. Por esse motivo, caso a rotação diminua, em virtude do motor não suportar a pressão da cinta, a rotação irá diminuir até a parada total do mesmo perdendo assim os dados obtidos e gerando perda de tempo para o operador. Consequentemente, esses dinamômetros vêm sendo substituídos por modelos mais versáteis, com predominância dos Dinamômetros Hidráulicos, onde a carga aplicada varia em razão diretamente proporcional ao cubo das rotações por minuto. Se a rotação cair, a carga imposta pelo dinamômetro diminuirá, dando tempo ao operador de reajustar a carga e corrigir a velocidade para o valor desejado. Outro modelo de dinamômetro e que será o utilizado neste projeto é o Dinamômetro Elétrico (vide seção 4.5Dinamômetro elétrico).

A escolha do dinamômetro depende da finalidade a que se destina o equipamento. O dinamômetro elétrico é escolhido pela sua alta versatilidade, podendo absorver a potência gerada pelo motor, bem como ser usado no trabalho inverso, funcionando o dinamômetro elétrico como gerador (motor) para se conhecer as perdas do motor acoplado a ele.

2.3 EMISSÕES

O processo de combustão é uma reação química de oxidação que se processa em altas temperaturas. Nos motores em geral, o processo de combustão oxida uma parcela dos componentes que são admitidos no interior do cilindro.

Os combustíveis, principalmente os derivados de petróleo, são na realidade uma mistura de hidrocarbonetos que contém também outros materiais, tais como enxofre, vanádio, sódio, potássio, etc. Por outro lado, o ar, utilizado como comburente, é uma mistura de gases diversos (N_2, O_2, CO_2, entre outros). O oxigênio contido no ar é o que realmente interessa ao processo de combustão. Os demais gases, como o nitrogênio, ao se combinarem com alguns outros componentes do combustível, podem produzir compostos indesejáveis, os quais são lançados na atmosfera, misturando-se ao ar que respiramos. Alguns desses compostos, como o SO_2, são prejudiciais e atualmente são objeto de preocupação mundial.

Nos gases de escapamento do motor Diesel, a fuligem (fumaça preta que contém partículas sólidas e líquidas, com algum adicional de hidrocarboneto absorvido), sob a denominação geral de material particulado (MP), representa uma fonte importante de emissão em motores Diesel.

Os compostos de emissão, tanto dos motores a diesel quanto à gasolina ou de combustíveis mistos, podem ser classificados em dois tipos: os que não causam danos à saúde, ou seja, O_2, CO_2, H_2O e N_2; e os que apresentam perigos à saúde, sendo esses subdivididos em compostos cuja emissão está regulamentada, que são: CO, os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio (NO_X), os óxidos de enxofre (SO_X) e material particulado (MP).

A operação em condições oxidantes das máquinas diesel, que contribui para uma boa economia de combustível, resulta, comparativamente com motores à gasolina, em menor produção de CO_2, num processo de combustão operando em temperaturas mais baixas, com formação e, consequentemente, emissão, de menor quantidade de NO_X, CO e hidrocarbonetos (HC). Entretanto, esse processo também resulta em elevados níveis de emissão de material particulado (MP) e de compostos responsáveis pelo odor característico da emissão diesel, sendo a emissão desses últimos altamente críticos durante condições de operação em baixo nível de temperatura. (Silvana Braun, 2003)

O material particulado (MP) produzido por um motor Diesel consiste, basicamente, de aglomerados de núcleos de carbono (fuligem), hidrocarbonetos, SO_3 ou ácido sulfúrico e água absorvidos ou condensados sobre esses núcleos (Braun, 2003). O maior porcentual de material particulado resulta da combustão incompleta do óleo Diesel e alguma contribuição do óleo lubrificante. (Heywood, 1988)

Tanto óxido nítrico (NO) quanto o dióxido de nitrogênio (NO_2) são usualmente agrupados como NO_x, sendo o primeiro produzido em maior escala no interior do cilindro de um motor Diesel. A

formação de NO é favorecido por altas concentrações de oxigênio e altas temperaturas da carga. (Heywood, 1988)

A formação de CO é uma função da quantidade disponível de combustível gasoso não queimado e da temperatura da mistura. Ambos controlam o índice de decomposição e oxidação do combustível.

A variação da quantidade de hidrocarbonetos não queimados nos gases de escapamento é consistente com a qualidade do processo de combustão do motor.

As organizações internacionais, como a EPA (Agência de Proteção Ambiental), nos Estados Unidos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), do Brasil e outras entidades, vêm estabelecendo padrões para controle dos níveis de emissões desses poluentes e, se considerarmos os milhões de motores que existem no planeta, emitindo milhões de toneladas desses produtos diariamente, veremos que, realmente, existem motivos para tal preocupação.

Para os automóveis, hoje em dia, é obrigatório o uso de catalisadores. Os catalisadores têm a função de diminuir a emissão dos principais poluentes que saem do motor.

Os catalisadores apresentam duas partes importantes. A primeira parte (catalisador de redução) ajuda a reduzir a saída de NO_x reduzindo este em N_2 e em O_2. A segunda parte (catalisador de oxidação) reduz os hidrocarbonetos não queimados e o monóxido de carbono, estes são transformados em CO_2.

Os motores de Ciclo Diesel produzidos atualmente necessitam atender a limites estabelecidos em normas internacionais, sendo esses limites, periodicamente, reduzidos a fim de obrigar os fabricantes a desenvolverem motores capazes de produzirem potência com o máximo aproveitamento do combustível e o mínimo de emissões.

O CONAMA dispõe de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). As fases P7 (para veículos pesados, acima de 3,5 toneladas) e L6 (para veículos leves, até 3,5 toneladas), como serão vistos na Tabela 2 e Tabela 3 do PROCONVE, estabelecem níveis de emissões veiculares mais baixos. Nesse caso analisaremos com base no PROCONVE L6 as taxas de emissões de poluentes estabelecidos pelo CONAMA.

O CONAMA possui como base as seguintes considerações:

- A emissão de poluentes por veículos automotores contribui significativamente para a deterioração da qualidade ambiental, especialmente nos centros urbanos;
- A utilização de tecnologias automotivas adequadas, de eficácia comprovada, associadas a especificações de combustíveis que permitem atender as necessidades de controle da poluição, economia de combustível e competitividade de mercado;
- A necessidade de prazo e de investimentos para promover a melhoria da qualidade dos combustíveis automotivos nacionais para viabilizar a introdução de modernas tecnologias de alimentação de combustíveis e de controle de poluição;

- A necessidade de prazo para a adequação tecnológica de motores veiculares e de veículos automotores às novas exigências de controle da poluição;
- A necessidade de estabelecer novos padrões de emissão para os motores veiculares e veículos automotores leves, nacionais e importados, visando à redução da poluição do ar nos centros urbanos do país e a economia de combustível;
- A necessidade de aprimorar o conhecimento sobre a emissão de dióxido de carbono e de aldeídos por motores do Ciclo Diesel;
- A necessidade de promover a conscientização da população, com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores.

Levando em conta essas considerações ficam estabelecidos os seguintes limites máximos de emissão de poluentes para os combustíveis Diesel, álcool e gasolina, provenientes do escapamento de veículos, para a fase do PROCONVE L6. Temos os seguintes valores mostrados na Tabela 2:

Tabela 2 - Limites máximos de emissão de poluentes para a fase do PROCONVE L6, Fonte: CONAMA.

	Veículos automotores leves de passageiro	**Veículos automotores comerciais, igual ou abaixo de 1700 kg**	**Veículos automotores comerciais, acima de 1700 kg**
monóxido de carbono (CO)	1,30 g/km	1,30 g/km	2,00 g/km
hidrocarbonetos não metano (NMHC)	0,05 g/km	0,05 g/km	0,06 g/km
óxidos de nitrogênio (NOx) p/ Ciclo Otto	0,08 g/km	0,08 g/km	0,25 g/km
óxidos de nitrogênio (NOx) p/ Ciclo Diesel	0,08 g/km	0,08 g/km	0,35 g/km
aldeídos totais (CHO) p/ Ciclo Otto	0,02 g/km	0,02 g/km	0,03 g/km
material particulado (MP) p/ Ciclo Diesel	0,025 g/km	0,030 g/km	0,040 g/km
monóxido de carbono em marcha lenta p/ Ciclo Otto	0,2% em volume	0,2% em volume	0,2% em volume

Os limites máximos estabelecidos por essa Resolução entram em vigor para veículos leves do ciclo Diesel: 100% a partir de janeiro de 2013.

A Tabela **3** mostra as reduções nas emissões de acordo com cada fase do processo de redução, essa tabela que será usada como comparativo nos resultados obtidos:

Tabela 3 - Limites das emissões para veículos pesados a Diesel, Fonte: PROCONVE

LIMITES DAS EMISSÕES PARA VEÍCULOS PESADOS A DIESEL - PROCONVE							
PROCONVE	EURO	CO (g/kW.h)	HC (g/kW.h)	NOx (g/kW.h)	MP (g/kW.h)	S (ppm de S)	Vigência
Fase P1	*	14,00*	3,50*	18,00*	*	*	1989 a 1993
Fase P2	Euro 0	11,20	2,45	14,4	0,60*	*	1994 a 1995
Fase P3	Euro 1	4,90	1,23	9,0	0,40 ou 0,70[2]	*	1996 a 1999
Fase P4	Euro 2	4,0	1,1	7,0	0,15	*	2000 a 2005
Fase P5	Euro 3	2,1	0,66	5,0	0,10 ou 1,13[3]	*	2006 a 2008
Fase P6	Euro 4	1,5	0,46	3,5	0,02	50	2009 a 2012[4]
Fase P7	Euro 5	1,5	0,46	2,0	0,02	10	a partir de 2012

As fases descritas acima na Tabela 3 do PROCONVE exigem além de modificações nos motores, novos sistemas de pós-tratamentos dos gases de escapamento e diesel com reduzido teor de enxofre. A atual legislação P7 reduz em 60% de óxido de nitrogênio (NO_x) e de 80% das emissões de material particulado (MP) em relação à fase P5, vigente até o final de 2012.

Para atender aos novos limites de emissões, são utilizados sistemas de pós-tratamento sensíveis ao enxofre. Portanto, é necessário um diesel com menor teor de enxofre, inicialmente, o S50 (50 partes por milhão – ppm) e, posteriormente, o S10 (10 ppm). A seção 3.5Diesel S50, S10 e Óleo de Fritura pode ser vista para melhor compreensão desses Óleos Diesel.

A não utilização do Diesel S50 em um veículo P7 é totalmente desaconselhável. Haverá um aumento das emissões, entupimento do catalisador e do filtro de combustível, formação de depósitos, carbonização do motor, redução da vida útil do veículo e outros (Cantero, 2012). Deve se evitar ao máximo, portanto, o uso de outro tipo de Óleo Diesel.

3. COMBUSTÍVEIS

O suprimento de combustível para os carros modelos flex (funcionam com a queima de etanol e gasolina), está em questão. Ambos vêm sendo importados em quantidades crescentes. As refinarias de petróleo do pré-sal produzirão quantidades expressivas de Óleo Diesel de boa qualidade para o consumo interno e exportação a partir de 2013. Gerando um interesse nos motores de Ciclo Diesel (Engenharia Automotiva e Espacial, 2012).

O interesse pelo Óleo Diesel é notório, porém, ainda se tem grandes preocupações com relação à questão ambiental e de desempenho do motor (consumo específico por potência gerada no eixo).

[2] 0,70 para motores até 85 kW e 0,40 para motores com mais de 85 kW;

[3] Motores com cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 RPM;

[4] Não foi possível iniciar a comercialização dos veículos a diesel das fases L5 / P6 em janeiro de 2009 devido à indisponibilidade do diesel adequado, de tempo para o desenvolvimento e de logística de distribuição de combustível e ureia. (Jr, Henry Joseph. ANFAVEA.)

A capacidade de queimar os mais diversos combustíveis dos motores Ciclo Diesel, devido a sua alta temperatura do ar na câmara de combustão, além de aproveitar o máximo do calor gerado pelo combustível dá a esses motores uma maior aplicabilidade. Porém, o combustível a ser colocado para combustão num motor Diesel deve levar em conta a bomba injetora, a velocidade de propagação da chama e da cinemática do conjunto cilindro-pistão.

Por exemplo, a gasolina pode ser utilizada num motor Ciclo Diesel sem ocorrer danos, porém, para um melhor rendimento do motor terá que ser ajustada a bomba injetora devido a viscosidade da gasolina ser menor que a do Óleo Diesel, podendo assim ser colocada numa relação maior que o ar causando uma combustão incompleta. Já o Óleo Diesel é injetado em formas de gotas, gerando um maior tempo para a mistura se tornar homogênea. Isso também é um dos fatores que faz com que a rotação do motor Diesel seja pequena.

Com essa capacidade de utilizar os mais diversos combustíveis, o Óleo Diesel é escolhido devido ao seu alto poder calorífico. O poder calorífico é definido como a quantidade de energia interna que um combustível possui. Esse poder calorífico pode ser dado como superior ou inferior. O PCS[5] é a energia do combustível quando entra em combustão e os gases de descarga são condensados para a retirada de água. Enquanto o PCI[6] não há condensação da água.

Tabela 4 - Densidade e Poder Calorífico Superior

	Densidade	**Poder Calorífico Superior**
Gasolina	0,742 g/cm³	8,325 Kcal/L
Diesel	0,852 g/cm³	9,160 Kcal/L
Álcool Hidratado	0,809 g/cm³	5,380 Kcal/L

Fonte: http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/servicos/formulas-de-conversao/detalhe-formulas-de-conversao/densidade-e-poderes-calorificos-superiores.htm

O motor Diesel, apesar de apresentar vantagens com relação ao motor Otto (Gasolina, Etanol) por emitir menos CO_2 na atmosfera, ainda apresenta problemas graves a serem resolvidas. Primeiro, há liberação de material particulado, enxofre e óxidos de nitrogênio devido à queima do Óleo Diesel. E segundo que uma má manutenção do motor Diesel pode acarretar problemas à saúde da população. Um exemplo da falta de manutenção é a fumaça preta, que são partículas de fuligem que podem chegar a atingir profundas regiões dos pulmões, causando sérias doenças. Essa fumaça preta é sinal de excesso de combustível e pode ser causado por várias razões como danos na bomba injetora, bicos injetores, válvulas desreguladas ou obstrução do filtro de ar.

Com base nesses fatores (desempenho e preocupação com o ambiente) e enquadrando as normas atuais, o Óleo Diesel mesmo apresentando características positivas, possui algumas pendências que levam a procurar novas fontes de energia. Nesse quesito buscamos uma nova solução, os Biocombustíveis.

[5] PCS: Poder Calorífico Superior

[6] PCI: Poder Calorífico Inferior

3.1 BIOCOMBUSTÍVEIS

Biocombustíveis são derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores à combustão ou em outro tipo de geração de energia. Segundo a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), no Brasil, os dois principais Biocombustíveis líquidos usados no Brasil são o etanol extraído da cana-de-açúcar e, em escala crescente, o Biodiesel, que é produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais e adicionado ao Óleo Diesel de petróleo em proporções variáveis (PETROBRAS, 2013).

O uso dessas fontes de energia já é uma realidade. Cerca de 18% dos combustíveis consumidos no Brasil já são renováveis. Pioneiro mundial no uso de Biocombustíveis, o Brasil alcançou uma posição almejada por muitos países que buscam fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo (ANP, 2012).

A figura abaixo mostra a evolução dos Biocombustíveis no Brasil, de acordo com a ANP:

Figura 4 - Evolução do Biocombustível. Fonte: (ANP, 2012).

Em 2011, houve uma desaceleração no crescimento de Biocombustíveis, porém, ainda se tem uma tendência de crescimento, mas em ritmo mais lento. A demanda aumentou devido à manutenção de políticas públicas e à elevação de metas de utilização de renováveis em muitas nações. Porém, se tem uma expectativa de que o mercado de Biocombustíveis dobre em dez anos e que o Brasil terá um papel fundamental neste crescimento (PETROBRAS, 2013).

3.1.1 Biodiesel

Os primeiros motores Ciclo Diesel tinham como objetivo rodar com vários tipos de óleos vegetais. Porém, com a abundância de petróleo aliada aos baixos custos de seus derivados fez com que o uso de óleos vegetais caísse no esquecimento, usando assim o Óleo Diesel como principal combustível. Mas com os incentivos e preocupações dos dias de hoje, houve uma retomada aos óleos vegetais, como por exemplo, o Biodiesel.

O Biodiesel é um combustível biodegradável obtido a partir de fontes renováveis que surgiu como uma alternativa para minimizar a importação do petróleo e impactos ambientais. O óleo vegetal ou gordura animal reage com o álcool na presença de base ou ácido forte, produzindo uma mistura de ésteres de ácidos graxos (Biodiesel) e glicerol.

Este Biodiesel é uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos que pode ser obtido através do processo de craqueamento (pirólise) ou transesterificação. A transesterificação é o processo de conversão de triglicerídeos em ésteres de ácidos graxos e glicerina, por meio de reações com alcoóis, em presença de um catalisador ácido ou básico. A espécie da oleaginosa, a razão molar, o tempo de reação, o álcool e o catalisador utilizados são fatores cruciais para se obter um bom rendimento nos motores em que são aplicados (Noureddini, 2001).

A catálise básica é normalmente mais usada por razões econômicas, de disponibilidade dos catalisadores (hidróxidos de sódio e potássio), por ser mais rápida e apresentar melhor rendimento que a ácida (Ferrari, Scabo, & Oliveira, 2004). Em relação ao álcool, o metanol é o melhor opção na transesterificação por razões de natureza física e química (cadeia curta e polaridade). No entanto, o etanol é mais popular, por ser mais fácil de fabricar e menos tóxico que o metanol (Shibasaki-Kitakawa, 2007).

Por ser um combustível biodegradável, ambientalmente correto e economicamente competitivo devido à utilização de fontes renováveis de matéria-prima (óleos vegetais e gorduras animais) e catalisadores de baixo custo (Geris, Santos, Amaral, Castro, & Carvalho, 2007), tem adquirido espaço no mercado nacional e internacional.

3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS

3.2.1 Vantagens

Segundo (Knothe, Gerpen, Krhal, & Ramos, 2006):

- O preço da gasolina, Diesel e derivados de petróleo tendem a subir ano após ano à medida que o consumo aumenta e as reservas de combustível diminuem. Além disso, há um problema político: instabilidades entre países e guerras promovem o aumento do produto.

- Efeito estufa, devido ao aumento de dióxido de carbono na atmosfera. A queima de derivados de petróleo contribui para o aquecimento do clima global por elevar os níveis de CO_2 na atmosfera.
- É energia renovável. No caso do Biodiesel feito de óleo de fritura, é considerado renovável, pois se recicla um óleo produzido na natureza.
- É constituído de carbono neutro (já se encontra no ciclo de carbono).
- A maioria dos veículos das indústrias e da agricultura usa, atualmente, o Óleo Diesel como combustível.
- O Biodiesel é uma fonte limpa e renovável que possui viabilidade do uso direto em motores diesel comprovada.
- O Biodiesel é mais seguro que o diesel a partir do petróleo. Pois o seu ponto de fulgor (temperatura mínima que o combustível libera vapor, formando uma mistura inflamável) é de cerca de $150°C$, enquanto do diesel é de aproximadamente $52°C$.
- Não requer armazenamento especial. Pode ser armazenado no mesmo lugar onde o petróleo é armazenado.

O Biodiesel pode ser usado puro ou misturado e em diferentes proporções, desde o B5(óleo diesel comercial), por exemplo, que é uma mistura de 5% de Biodiesel e 95% de Óleo Diesel puro até uma concentração de 100% do Biocombustível (B100) (Biodieselbras, 2007).

3.2.2 Desvantagens

Apesar de todas as vantagens citadas sobre o Biodiesel há também alguns pontos que o tornam desfavoráveis para escolha de combustível substituto.

Um dos aspectos desfavoráveis é o do ponto de vista econômico, pois a produção e a implementação do Biodiesel o deixaria comercialmente mais caro do que o diesel atual.

Outro aspecto é o do Óleo Diesel ter sua estabilidade e seu teor de água potencialmente afetados após a mistura com Biodiesel. Portanto, vale a recomendação (e não obrigação) de um mês para circulação do produto (ANP, 2010).

Sua estabilidade também é afetada pela ação da oxidação resultante do tempo de contato do produto com o ar e também devido a uma ação bacteriana que pode estar presente na água. Tudo isto devido a um fator: a temperatura. Quanto maior a temperatura, mais essa situação é favorecida.

Outros pontos que desfavorecem seu uso (Ferrari, Scabo, & Oliveira, 2004):

- Os grandes volumes de glicerina previstos (subprodutos) só poderão ter mercado a preços muito inferiores dos atuais, podendo afetar todo o mercado de óleos químicos;
- Impactos não vislumbrados ainda do excedente de glicerina;

- Possui uma produção ligeiramente mais baixa de energia, se comparada a um volume equivalente do diesel regular. Isso se dá pelo seu poder calorífico ser menor que o do óleo diesel.
- Instabilidade em climas frios, tendo que ser utilizado aditivo anticongelantes.

3.3 LEGISLAÇÃO

Em 2005, a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), criada em 1997 pela Lei nº 9.478) teve suas atribuições de regulação ampliadas aos Biocombustíveis. A Agência teve papel decisivo na implantação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, que, em seis anos, fez com que todo o diesel vendido no País (com exceção do uso hidroviário) passasse a conter 5% de biodiesel puro (mistura denominada B5).

Desde 1º de janeiro de 2010, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil contém 5% de biodiesel. Esta regra foi estabelecida pela **Resolução nº 6/2009** do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 26 de outubro de 2009, que aumentou de 4% para 5% o percentual obrigatório de mistura de Biodiesel ao Óleo Diesel. A contínua elevação do percentual de adição de biodiesel ao diesel demonstra o sucesso do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e da experiência acumulada pelo Brasil na produção e no uso em larga escala de Biocombustíveis.

A ANP estabelece normas e autoriza o funcionamento das usinas produtoras, fiscaliza a estocagem, autoriza exportação e importação. E, sobretudo, é responsável pela organização dos leilões de compra do produto, por meio dos quais os produtores de Diesel derivado de petróleo adquirem o B100 para repassá-lo às várias distribuidoras, que misturam o Biodiesel puro ao Diesel fóssil.

A venda de diesel BX[7] – nome da mistura de Óleo Diesel derivado do petróleo e um percentual (5%, atualmente) de Biodiesel – é obrigatória em todos os postos que revendem Óleo Diesel, sujeitos à fiscalização pela ANP. A adição de até 5% de Biodiesel ao Diesel de petróleo foi amplamente testada, dentro do Programa de Testes coordenado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, que contou com a participação da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA). Os resultados demonstraram, até o momento, não haver a necessidade de qualquer ajuste ou alteração nos motores e veículos que utilizem essa mistura.

3.4 DEMANDA DE BIODIESEL

Em 2011, cerca de 2,6 bilhões de litros de Biodiesel Puro (B100) foram consumidos no Brasil, aproximadamente 3,3% a mais que em 2010. Um aumento considerável e que tem como causa o

[7] BX expressa a quantidade de biocombustível misturado ao óleo diesel. Por exemplo, B10 é um combustível de 10% de biodiesel com 90% de óleo diesel.

aumento na demanda de Óleo Diesel convencional que contém uma parcela de Biodiesel regulamentada pela ANP (EPE, 2012)

A Tabela 5 fornecida pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) mostra o crescimento de consumo de Biodiesel pelas regiões do país e com destaque para duas delas, a região Norte e Centro-Oeste que tiveram os maiores crescimentos, 20,8% e 19,5%, respectivamente.

Tabela 5 - Crescimento de consumo de Biodiesel nas regiões, Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Região / Ano	2010	2011	Variação %
Norte	0,26	0,32	20,8
Nordeste	0,36	0,39	9,0
Sul	0,49	0,48	-1,4
Sudeste	1,11	1,06	-4,7
Centro-Oeste	0,28	0,34	19,5
Brasil	2,51	2,59	3,3
Biodiesel de soja	2,09	2,09	-0,1
Capacidade Instalada	4,17	5,90	41,4

O Brasil está entre os maiores produtores e consumidores de Biodiesel do mundo, com uma produção anual, em 2010, de 2,4 bilhões de litros e uma capacidade instalada, no mesmo ano, para cerca de 5,8 bilhões de litros.

3.5 DIESEL S50, S10 E ÓLEO DE FRITURA

Desde janeiro de 2012 está sendo utilizado um novo tipo de Óleo Diesel, o S50, e a partir de janeiro de 2013 deve ser implementado o Diesel S10. Anteriormente, no Brasil, eram utilizados os Óleos Diesel S500 e o Diesel S1800. A principal diferença é a quantidade de enxofre presente no combustível. O Diesel S50 possui 50 mg/kg de enxofre (ou partes por milhão, ppm) enquanto o S500 tem 500 mg/kg, ou seja, dez vezes mais enxofre. O Diesel S50 também possui o número de cetano de 46, contra 42 do diesel S500 e S1800.

Esse índice de cetano está relacionado com a velocidade de ignição, que corresponde ao período entre o início da injeção de combustível e o início da combustão. Uma combustão de boa qualidade ocorre com uma ignição rápida seguida de uma combustão suave e completa do combustível. Um número adequado de cetano no combustível favorece o bom funcionamento do motor. Baixos valores de índice de cetano acarretam dificuldades de partida a frio, depósito nos pistões e mau funcionamento do motor. Altos valores de cetano acarretam em um rápido aquecimento do motor, reduz a possibilidade de erosão dos pistões e possibilita funcionamento do motor com baixo nível de ruído e minimiza as emissões de poluentes.

O Biodiesel possui um poder calorífico menor que o do Óleo Diesel. Entretanto, esse inconveniente é compensado pelo maior número de cetano. Isso quer dizer que o Biodiesel possui uma

combustão de maior qualidade, aproveitando melhor seu conteúdo energético (Costa & Oliveira, 2006).

De acordo com a ANP (2012) o Diesel S-50 também pode ser usado nos veículos motores mais antigos e que há uma redução considerável nas emissões devido ao seu uso: "Dados divulgados por fabricantes indicam que para um motor Fase P-5[8] (anterior a 1º de janeiro de 2012), há uma redução de 10% em material particulado e que para os motores de fases anteriores à fase P-5 não se espera por reduções perceptíveis. Com respeito aos óxidos de nitrogênio, não há relatos sobre ganhos, no caso dos veículos pesados antigos. Sobre a potência dos motores, não haveria alteração em relação aos combustíveis de maior teor de enxofre". A utilização do Óleo Diesel com baixo teor de enxofre nos veículos mais antigos além de proporcionar a redução nas emissões de material particulado também causa menos desgastes dos anéis e cilindros, com aumento da vida útil, e menor deterioração do óleo lubrificante. (Cantero, 2012).

Além desses novos tipos de Óleo Diesel surgindo no mercado, temos um combustível em crescente demanda e ponto principal desse projeto, o Biocombustível, que hoje é visto como uma das soluções para os problemas de emissões, pois não contém compostos de enxofre e por isso não emitem dióxido de enxofre.

Os Biocombustíveis estão sendo produzidos das mais diversas formas, sendo feitos de algas, halófitos, camelina, gordura animal, azeite vegetal e óleo de cozinha usado. O Biodiesel de óleo de cozinha usado, que será a referência do projeto, já esta sendo utilizado em alguns motores. Por exemplo, em junho de 2012, a KLM[9] (Companhia Real de Aviação, empresa aérea dos Países Baixos) realizou um vôo comercial de Amsterdã com destino ao Rio de Janeiro, sendo abastecido parcialmente com combustível feito com base em óleo de cozinha usado (Engenharia Automotiva e Espacial, 2012).

O óleo de cozinha novo não é barato e se fosse usado como combustível se tornaria mais caro ainda pela simples lei da oferta e demanda. Portanto, aproveitando a condição de não utilização do óleo usado de restaurantes e escolas e outros é possível produzir Biodiesel de uma forma economicamente viável. Além de se obter uma nova fonte de energia evitam-se descartes errados do mesmo em locais impróprios que acontece rotineiramente.

A produção de biodiesel proveniente do reaproveitamento de óleo residual para os biocombustíveis é uma contribuição para o desafio energético de abastecer de combustíveis os veículos ciclo diesel, que em princípio representará tecnologia limpa de produção de energia, ou seja é uma das possibilidades de se mitigarem efeitos ambientais danosos, por meio do uso na produção de biocombustíveis.

---

[8] Motor que está regido e restrito a certos limites de emissões de poluentes pelo PROCONVE, vide seção "2.3Emissões".

[9] KLM significa Koninklijke Luchtvaart Maatschappij.

Um fato já ocorrido se deu pela Volkswagem que em 2002 modificou um Jetta TDI para rodar com B5 e B100 feitos a partir de óleo de cozinha e comparou os resultados com o diesel convencional (as modificações feitas no carro não são baratas, segundo a montadora o kit custa cerca de $ 795,00). Utilizando o B5, a mistura forneceu o melhor equilíbrio de desempenho, emissões e economia de combustível.

4. METODOLOGIA E APARATO EXPERIMENTAL

4.1 BANCADA DE ENSAIO DO DINAMÔMETRO

A bancada montada no Bloco G situado na Universidade de Brasília apresenta um motor estacionário Diesel acoplado a um dinamômetro elétrico.

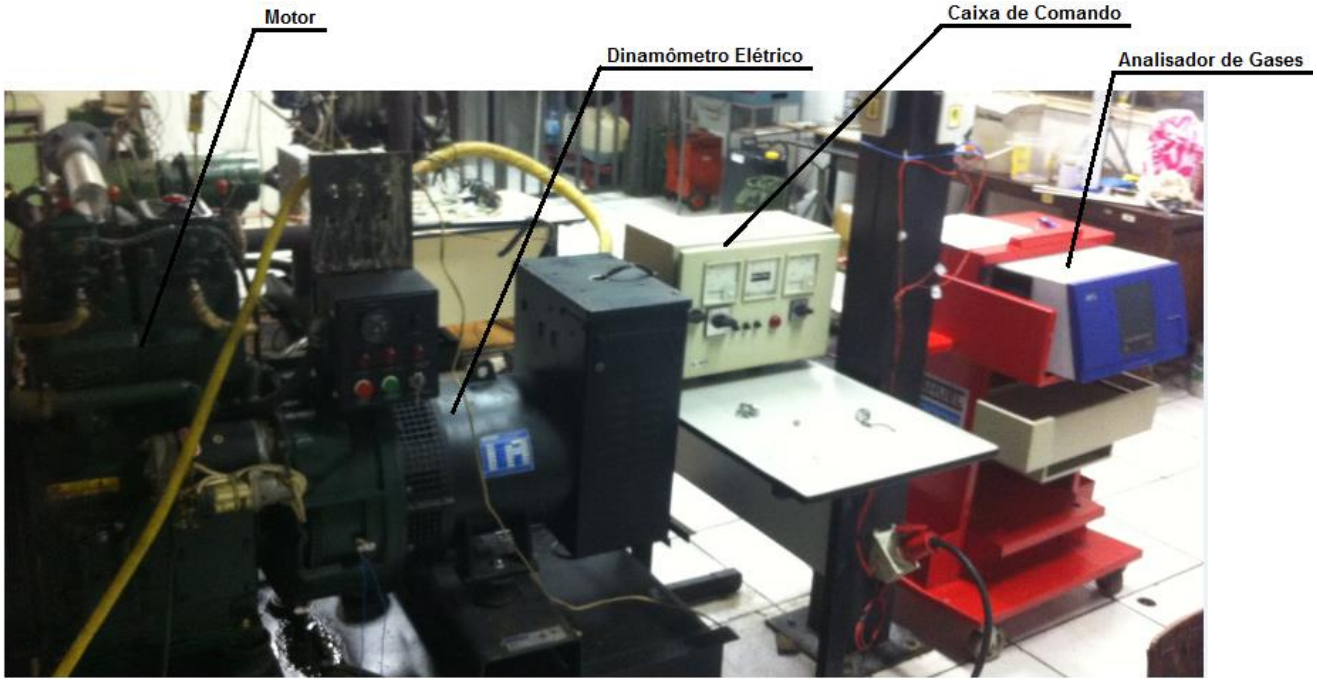


Figura 5 - Motor e dinamômetro

O volante do motor se encontra acoplado ao dinamômetro elétrico que dissipa a energia gerada numa caixa de resistências. Pode-se analisar a potência por meio de uma caixa de comando, onde se apresenta os parâmetros de corrente e voltagem.

Para obter uma melhor visualização segue o esquema abaixo (Figura 6).

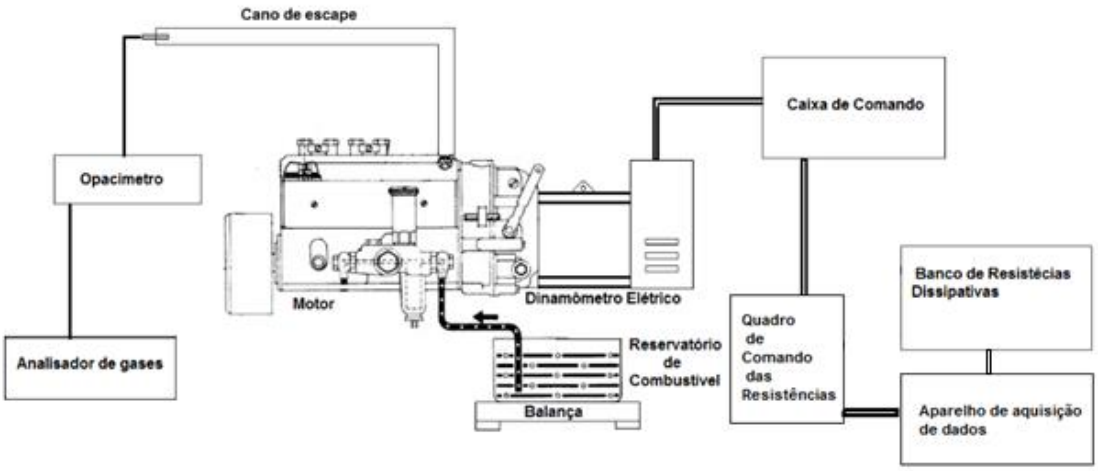


Figura 6 - Esquema da bancada do motor

4.2 MOTOR UTILIZADO

4.2.1 Características do Motor

- Motor estacionário;
- Modelo do motor: DM20; e modelo do alternador: ATED;
- Número de cilindros: 2 (dois);
- A disposição dos cilindros é em linha;
- Ciclo: 4 tempos;
- Taxa de compressão: 20,5:1;
- Cilindrada: 1533 cm^3;
- A admissão de ar é aspirada e sem filtro de ar;
- Sistema de arrefecimento: Água sem aditivos e ventilador;
- A injeção de combustível é direta, não passando por uma antecâmara;

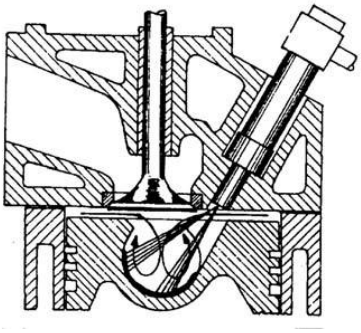


Figura 7 - Injeção direta

a) Ignição do Motor

Para a ignição do motor são necessárias duas etapas. A primeira é acionar a parte elétrica do motor, ou seja, dar a partida e a segunda é abrir a injeção de diesel para o pistão.

O acionamento elétrico ocorre por uma chave num quadro de acionamento, este mesmo quadro além de dar a ignição elétrica do motor também dá detalhes do funcionamento como a temperatura de água e pressão do óleo.

Figura 8 - Quadro de acionamento elétrico

Após o acionamento elétrico deve-se fazer uso da injeção direta na câmara de combustão, para assim o motor possa começar a funcionar pela combustão (diesel).

A injeção direta é aberta após as válvulas acima dos pistões serem fechadas. As duas devem ser fechadas para que o motor possa funcionar com os dois pistões.

Figura 9 - Válvula para abertura da injeção

b) Sistema de Arrefecimento

Como é um motor estacionário, o seu sistema de arrefecimento consiste em um radiador ligado a uma ventoinha. Esse radiador tem capacidade de 6 litros, sendo nesse caso enchido com água sem aditivo. Suporta uma pressão de até 7 (sete) psi.

Possui dimensões 44 x 6 x 53 cm e sua tubulação e suas aletas são feitas de alumínio.

Figura 10 - Vistas do sistema de arrefecimento

c) Sistema de Lubrificação

O sistema de lubrificação é o original do motor. Onde o óleo é elevado por uma bomba situada na parte da frente do motor (lado oposto ao dinamômetro). O óleo desce para o cárter por ação da gravidade. O óleo utilizado no motor é o SAE 40 API CF.

O óleo foi colocado no motor na quantidade correta. Sempre tomando cuidado para que o motor não funcione com baixos níveis de óleo.

d) Sistema de Alimentação do Motor

O sistema de alimentação do motor é constituído de um reservatório de 2 litros, em que por meio da gravidade o combustível chega ao motor por uma mangueira de diâmetro 1,3 cm. O sistema de alimentação é externo ao motor.

A tampa no momento do teste tem que permanecer aberta afim da pressão atmosférica ajudar o combustível a descer para o motor.

Figura 11 - Sistema de alimentação do motor

Além disso, o motor possui um subsistema de alimentação que é constituído por duas bombas injetoras e dois bicos injetores, um para cada cilindro.

e) Sistema de Exaustão

O sistema original do motor foi mantido. Porém foi feito um prolongamento junto a um cotovelo para evacuar os gases de exaustão para fora do laboratório. Essa junção é feita por uma peça de alumínio entre duas de amianto e apertada por dois parafusos.

Esse sistema não possui nenhum silenciador nem catalisador.

A tubulação de escape tem comprimento de 4,27 m e um diâmetro de 5,2 cm

Figura 12 - Sistema de escapamento desmontado

4.3 APARATO RESISTIVO

Como o motor esta acoplado a um gerador elétrico temos que aplicar uma carga no motor para que a energia criada pelo motor para o gerador seja dissipada. Essa energia dissipada que nos fornecerá os dados de potência e torque. Assim o gerador é ligado a um aparato resistivo.

O aparato resistivo é constituído da caixa de comando, quadro de comando da resistência, aparelho de aquisição de dados e banco de resistências dissipativas. Todos esses ligados em série.

4.3.1 Caixa de comando

É um aparelho que já vem com o gerador de fábrica. Ele pode ser diretamente instalado na caixa de resistências, porém, optamos por instalar o aparelho de aquisição de dados em série.

Por meio da caixa de comando temos a leitura da corrente que passa em cada uma das três fases que saem do motor e da tensão de linha entre as fases. A frequência também pode ser medida.

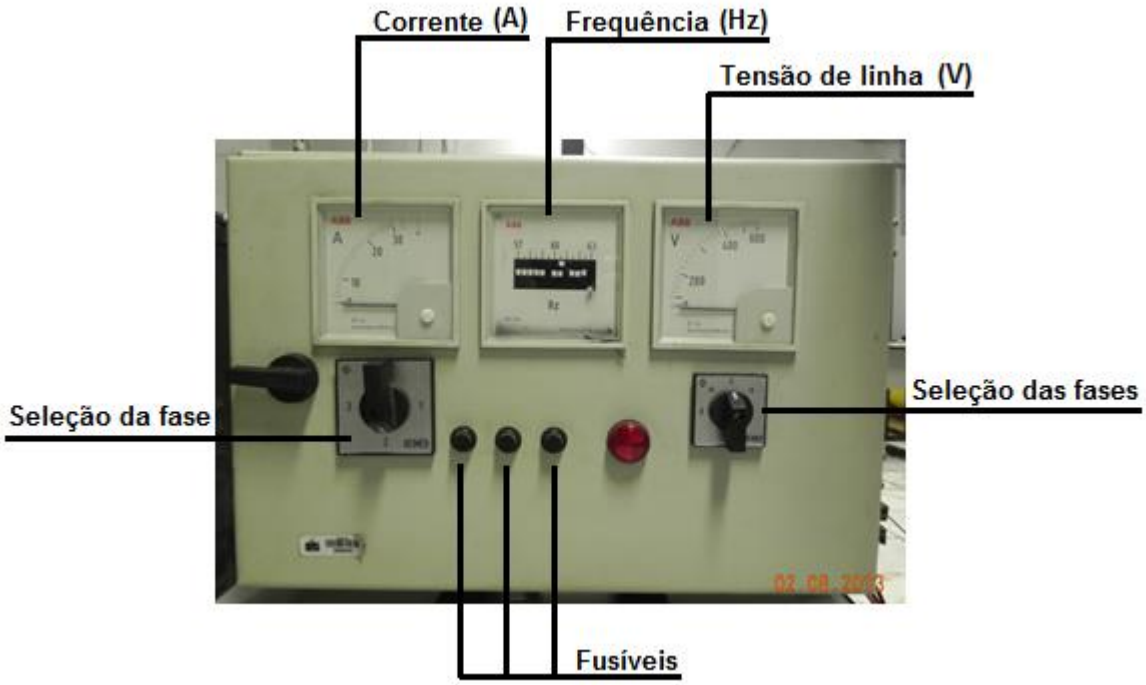


Figura 13 - Caixa de comando

4.3.2 Aparelho de aquisição de dados

Tem a função de gerar a leitura da potência mecânica do motor. É indispensável no circuito resistivo, pois se encontra instalado em série com a caixa de resistências.

Figura 14 - Aparelho de aquisição de dados

4.3.3 Banco de resistências dissipativas

Tem como objetivo dissipar a energia criada pelo gerador elétrico. Por meio da combinação de resistências podemos aumentar ou diminuir a carga do motor.

Figura 15 - Resistências dissipativas, Fonte: www.slolostocks.com.br

Como o motor gira a uma rotação constante (1800 RPM) temos que, aumentando a carga requeremos mais do motor o que faz necessitar de mais combustível. Como cada combustível testado apresenta um PCI[10] diferente, teremos consumos diferentes, pois combustíveis de menores PCI acarretaram maior consumo.

Para maior confiabilidade dos dados e maior segurança na operação do conjunto motogerador, foi necessária de construção de um novo banco de resistências dissipativas, devido as mesmas se encontravam muito oxidadas e sujas. A Figura 16 mostra um comparativo de como as resistências estavam antes e depois do processo de lavagem e limpeza. A caixa que comporta as resistências

[10] PCI, poder calorífico inferior.

também se encontrava em estado precário de conservação e passou por um processo de recuperação (vide Figura 17).

Figura 16 - Resistência antes (acima) e depois (abaixo) do processo de lavagem.

Tão importante quanto o estado físico que se encontrava o banco de resistências é o controle de acionamento das resistências. Antes, não se sabia qual a potência gerada por cada resistência, muito menos qual estava em pleno funcionamento, o que acarretava em um método de tentativa e erro. De fato, as cargas eram geradas no motor, mas sem nenhum resultado quantitativo. Cargas aleatórias eram geradas.

Abaixo, uma ilustração de como era o banco de resistências dissipativas (Figura 17, a esquerda) e como ele ficou após o processo de recuperação e reconstrução (Figura 17, a direita).

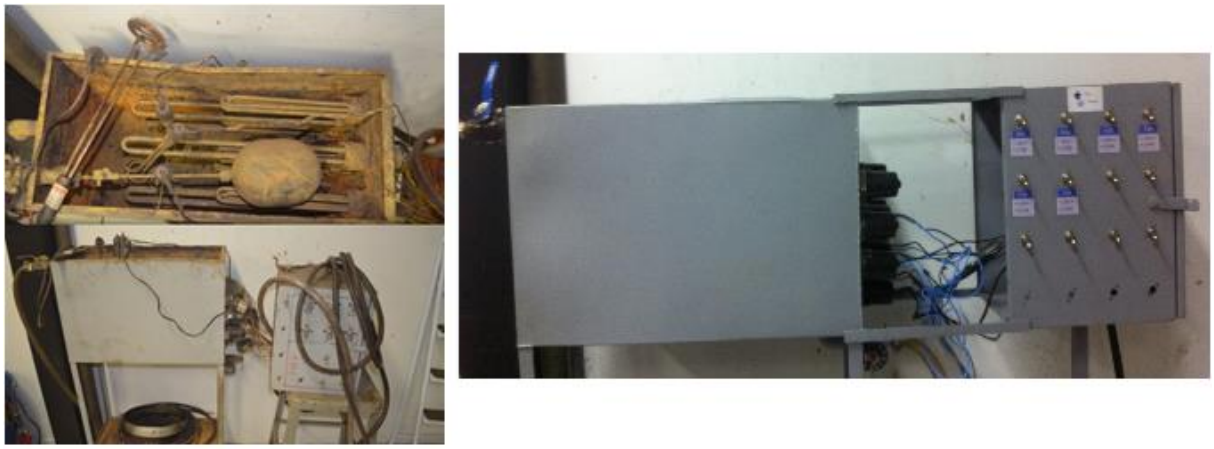


Figura 17 – Caixa de Resistências antes da reestruturação

Com a construção de um novo circuito elétrico, arranjo das resistências, limpeza do banco de resistências tivemos um êxito no que se diz respeito a funcionamento e controle do sistema de dissipação de calor. Os valores de potência de cada resistência, antes desconhecidos devido a falta de manutenção no laboratório e a ferrugem tampar a descrição das resistências agora são conhecidos após a limpeza.

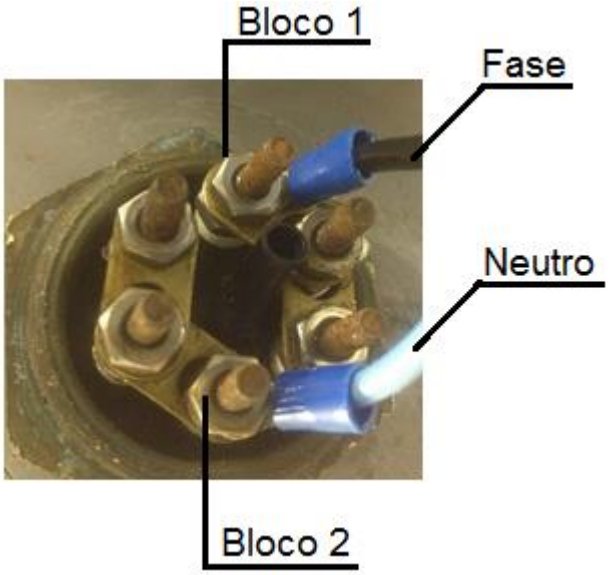
Para o presente estudo, foram gerados gráficos de Potência por Consumo. Potências essas que são devidas a cargas geradas no motor. Essas cargas variam de 1 kW (estado mais baixo de carga) até 11 kW (estado mais alto de carga). Existe também, o estado sem carga, onde o motor atua sem atuação de qualquer resistência. Nesse estado o consumo gasto pelo motor é para vencer o atrito das partes móveis do motor.

4.3.4 Montagem do Equipamento

A caixa de resistência apresenta:

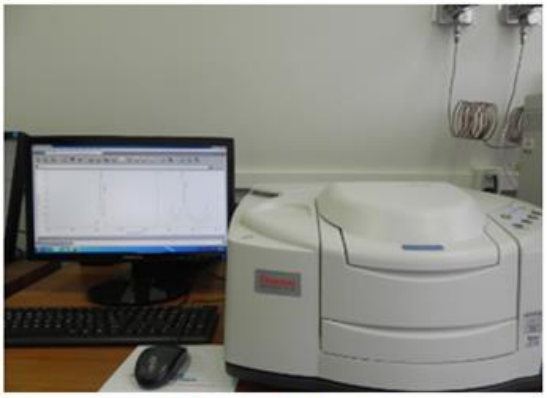
- Uma (1) resistência de 1 kW;
- Cinco (5) resistências de 2 kW.

As resistências são conectadas (fechamento elétrico) em paralelo, ou seja, dos 6 terminais ligamos de três em três, formando dois blocos. Fechamos a fase num conjunto e o neutro em outro.



4.4 ANÁLISE DOS GASES DE EXAUSTÃO

A análise dos gases de exaustão será feita a partir de uma medição feita pelo aparelho de medição de emissões AVL Série 4000 DICOM (Figura 18).



Espectrofotômetro

Analisador de Gases

Opacímetro

Figura 18 – Aparelho medidor de emissões AVL 4000 DICOM

O medidor de emissões é um aparelho capaz de medir os parâmetros emitidos pelo motor exibidos na tabela abaixo:

Tabela 6 - AVL Série 4000 DICOM - Parâmetros de medição

AVL Série 4000 DICOM - Parâmetros de Medição		
	Faixa de medição	Resolução
Opacidade	0 ... 100 %	0,10%
Tempo de aceleração	0 ... 5 s	0,1 s
Velocidade do motor	250 ... 8000 RPM	10 RPM
Temperatura do óleo	0 ... 120 °C	1 °C
CO[11]	0 ... 10 % por vol.	0,01 % por vol.
CO_2[12]	0 ... 20 % por vol.	0,1 % por vol.
HC[13]	0 ... 20000 ppm vol.	1 ppm vol.
O_2[14]	0 ... 4 % por vol.	0,01 % por vol.
	4 ... 22 % por vol.	0,1 % por vol.
NO[15]	0 ... 9000 ppm vol.	1 ppm vol.

Para uma melhor confiabilidade na leitura do medidor, a sonda foi devidamente limpa e lixada tomados os cuidados para se posicionar a sonda na posição em que se tenham os melhores dados.

[11] Monóxido de carbono.

[12] Dióxido de carbono

[13] Material particulado

[14] Oxigênio

[15] Monóxido de nitrogênio

Devido a tubulação de escape ser formada por conexões, pode-se ter interferência do oxigênio com os gases emitidos pelo motor. Assim, foi colocada a sonda o mais próxima possível do cano de descarga antes de qualquer conexão. Essa posição alivia os erros cometidos por fatores externos. A sonda deve ficar no mínimo a uma distancia de 30 cm dentro do cano de escapamento (caso contrário a pulsação dos gases de escape pode afetar os valores de medição).

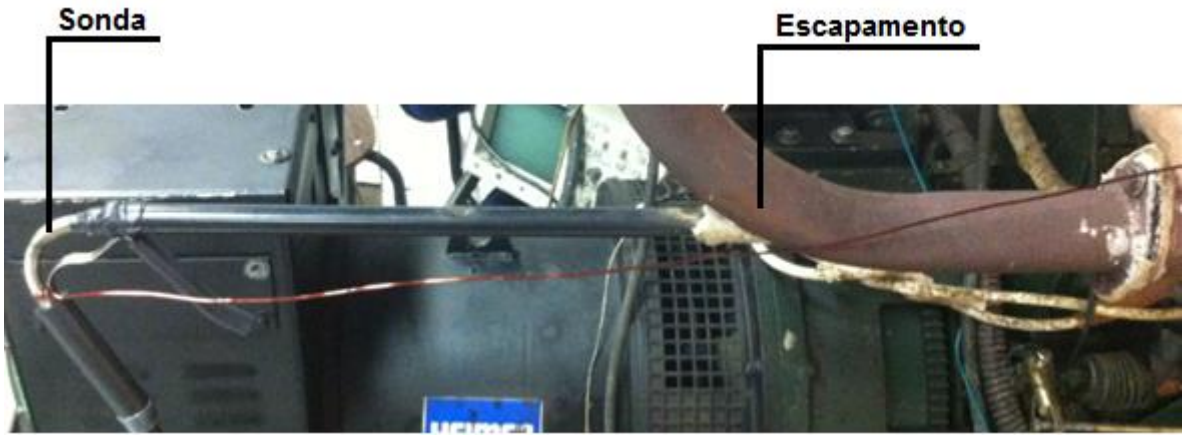


Figura 19 - Posição da sonda para coleta de gases

Outras orientações que devem ser seguidas para manter a confiabilidade da medição:

- Assegurar de que as saídas do sensor de O_2 e do sensor de NO estarão abertas e não cobertas pela tampa. O analisador pode produzir dados errôneos ou se danificar.
- Certificar de que a mangueira de descarga está conectada. A mangueira de condensado não pode estar obstruída para não refluir o condensado e contaminar a célula de medição.
- Inserir a sonda no cano de escapamento somente quando for efetuar as medições.
- Certificar de que em um raio de 5m não exista algum equipamento que cause interferência magnética.
- Fatores como exposição ao Sol, chuva, atmosferas corrosivas e contaminadas com gases de gasolina prejudicará a medição.

4.5 DINAMÔMETRO ELÉTRICO

O dinamômetro elétrico é um gerador elétrico, que acionado pela máquina em prova, produz energia elétrica, a qual será consumida por uma carga variável (cuba eletrolítica ou resistores). A medição exige correção dos instrumentos elétricos para compensar o rendimento do gerador. Tem a vantagem de poder ser utilizado como motor elétrico para medição de potência de atrito da máquina em prova.

O gerador se presta muito bem para servir de carga a um motor de prova, tendo-se o cuidado de fazer a medição de potência com instrumentos elétricos e a correção decorrente do fator de potência do gerador. O fator de potência do gerador utilizado é de 0,8 indutivo.

a) Potência e Rendimento Mecânico:

A potência desenvolvida pelo motor é, comumente, designada potência de eixo, abreviadamente bhp (do inglês *brake horse-power*). A equação 4.5.1 é uma expressão para a potência do eixo. A potência total desenvolvida pelos êmbolos é designada potência indicada, abreviadamente ihp (do inglês *indicated horse-power*).

Uma parte da potência indicada, desenvolvida pela queima da mistura ar-combustivel, não aparece como potência de eixo, em virtude de ser necessária para vencer o atrito dos mancais, êmbolos e demais peças do motor, e para efetuar a aspiração da mistura combustível e a expulsão dos gases de descarga. A esta parte da potência indicada denomina-se potência de atrito, abreviadamente fhp (do inglês *friction horse-power*) (Obert, 1971).

Assim temos a definição que a potência indicada será dada por:

$$ihp = bhp + fhp \qquad \text{(eq.4.5.1)}$$

A potência de atrito é difícil de ser calculada experimentalmente, pois não há meios de medi-la diretamente, variando muito com as condições do motor. Existem métodos que podem ser adotados para o cálculo da potência de atrito em motores de velocidade constante.

A razão entre a potência no eixo (bhp) e a potência total desenvolvida pelo motor (ihp), denomina-se rendimento mecânico (η_m):

$$\eta_m = bhp/ihp \qquad \text{(eq.4.5.2)}$$

b) Metodologias para obtenção da Potência de Atrito:

Para uma boa estimativa da potência que é perdida pelo motor, potência de atrito, é necessário uma boa metodologia que faça a ligação entre a teoria e a prática podendo ser mais viável ou não, mais preciso ou menos preciso, dependendo da aplicação. Para o presente estudo foram consideradas duas metodologias que serão discretizadas abaixo.

- **Método da Linha de Willian's**

É utilizado em motores com velocidade constantes, onde se obtêm os pontos de leitura de consumo de combustível e potência mecânica (bhp), elaborando assim um gráfico.

O gráfico desenhado na chamada linha de Willian é extrapolado para cortar o eixo x no ponto L. A leitura de OL é tomada como sendo a potência de atrito do motor e o consumo de combustível dado por OM. Assume-se então uma linearidade (traça-se uma reta) entre o ponto M e o ponto L, podendo assim considerar que o consumo de combustível OM é equivalente a perda de potência OL. (Rajput, 2007)

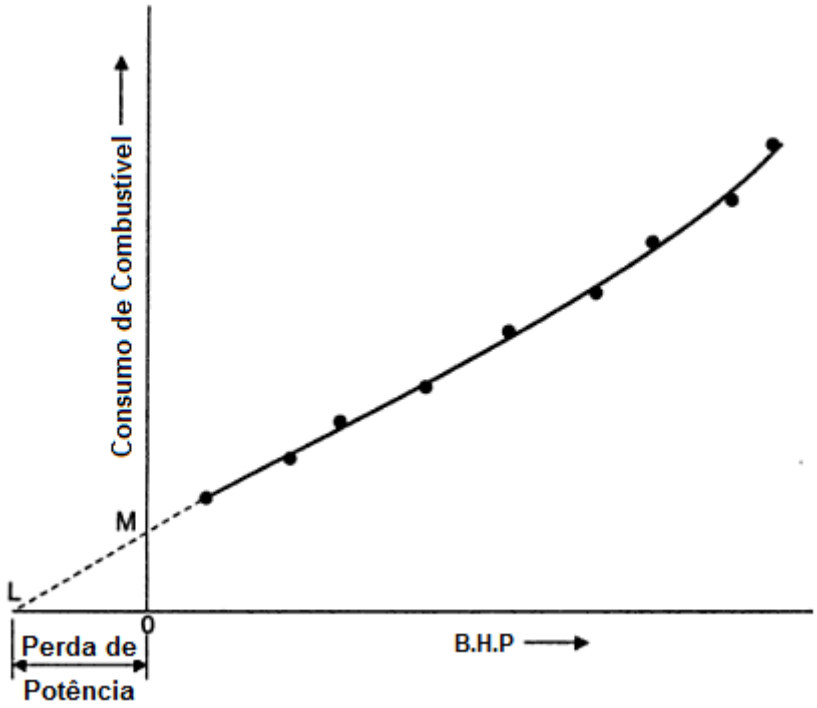


Figura 20 - Método da linha de Willian, Fonte: (Rajput, 2007)

A força de atrito é assumida constante para o funcionamento do motor sem carga até plena carga, a uma velocidade constante. O fhp (força de atrito) calculado dessa forma inclui não só a fricção mecânica como também o poder de bombeamento (gasto com a bomba de injeção).

A linha traçada pelo consumo de combustível não é uma linha reta, mas transforma-se ligeiramente em cargas baixas e consideravelmente perto da plena carga. Se não houver uma preocupação com os dados a serem tomados para se traçar com precisão a curva de linha reta pode se ter um resultado com um erro significante. (Rajput, 2007)

- **Teste Morse**

O teste de Morse é um teste que dá um valor aproximado para as perdas por atrito por meio dos valores de potência indicada e potência de eixo de um motor de múltiplos cilindros.

O teste de Morse é realizado a uma velocidade constante do motor em um dinamômetro. A primeira fase do ensaio regista a potência de eixo do motor, com todos os cilindros funcionando (entrado combustível). Subsequentemente, um cilindro é impedido de entrar combustível e a carga do dinamómetro é ajustada para levar o motor até à mesma velocidade que foi quando todos os cilindros eram disparados, a potência de eixo, em seguida, é registrada. A diferença entre a potência de eixo com todos os cilindros de trabalho e que o obtido quando um cilindro é cortado é a potência indicada do cilindro que não está funcionando. Este procedimento é repetido para cada um dos cilindros de potência e o indicado para o conjunto do motor é a soma da potência dos cilindros individuais. (Allan Bonnick, 2011)

$$ihp = bhp + fhp \text{ (eq. 4.5.3)}$$

Para todos os cilindros em funcionamento (Eq. 4.5.4):

$$\sum_{i=1}^{k} ihp_i = \sum_{i=1}^{k} bhp_i + \sum_{i=1}^{k} fhp_i$$

Tendo o primeiro cilindro cortado, ele não produzira potência indicada (*ihp*) e, teoricamente, não haverá qualquer contribuição para a potência no eixo (*bhp*). No entanto, não haverá praticamente mudanças no valor da potência de atrito (*fhp*).

Com um cilindro cortado a entrada de combustível (Eq. 4.5.5):

$$\sum_{i=2}^{k} ihp_i = \sum_{i=2}^{k} bhp_i + \sum_{i=1}^{k} fhp_i$$

Subtraindo a equação 4.5.4 da equação 4.5.5 temos:

$$ihp_1 = \sum_{i=1}^{k} bhp_i - \sum_{i=2}^{k} bhp_i$$

Logo,

$$ihp = ihp_1 + ihp_2 + \cdots + ihp_k$$

Para o motor Ciclo Diesel utilizado no estudo foi estimado a potência de atrito do motor utilizando os dois métodos. O resultado de cada um dos métodos se encontra na

5. MICRO USINA DE BIODIESEL

A Universidade de Brasília/FGA/Gama instalou em julho de 2010 uma planta-piloto de produção de biodiesel. A planta-piloto utilizará como matéria-prima o óleo de fritura coletado em um colégio, evitando que este óleo continue sendo lançado ao esgoto in natura.

O óleo vegetal de fritura representa uma alternativa viável e de baixo custo para a fabricação de biodiesel. O reaproveitamento desse óleo é escasso no Brasil, sendo prejudicial ao meio ambiente, pois chega a contaminar grandes níveis de água (1 L de óleo contamina 1000.000 L de água).

No Brasil, estima-se que o resíduo de óleo de fritura está em uma faixa entre 1,5 a 2 bilhões de L/ano. (Programa Bióleo Duplamente Sustentável. Projeto Brasil 2022. Instituto PNBE de Desenvolvimento Social.)

A micro usina é construída em um contêiner para que possa ser facilmente deslocada. Esta planta-piloto de biodiesel tem a capacidade de produção máxima de 200 l/dia e mínima de 50 l/dia.

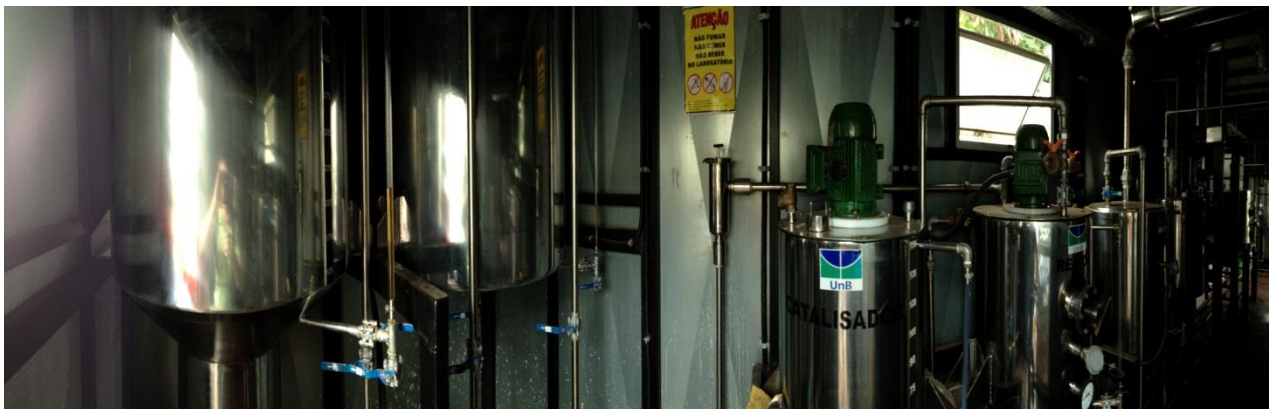


Figura 21 - Interior da Micro usina de Biodiesel

Para recolhimento do óleo de fritura foi feito uma parceria entre a FGA com o Colégio Estadual Ocidental (CEO), onde alunos da CEO coletaram óleo de fritura durante o ano de 2012. Este óleo já se encontra armazenado no galpão da FGA.

O biodiesel e a glicerina obtida no processo de produção do biodiesel terá monitoramento de parâmetros de especificação físico-químicos através de metodologias referenciadas nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

5.1 PRODUÇÃO DE BIODIESEL NA ROTA METÍLICA

A fim de se proceder segundo as normas da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2004) realiza-se primeiro o teste de acidez da amostra de óleo de fritura, a qual se deve encontrar dentro das especificações exigidas pelas normas, isto é, abaixo de 1 mg KOH/g.

A partir desse dado começa a obtenção do Biodiesel a partir deste óleo, originalmente de soja (soja e milho), coletados no CEO. Antes do início das reações, filtrou-se o óleo em papel de filtro para eliminar impurezas grosseiras que poderiam conter na amostra e regular a acidez do óleo (Processo 1), Figura 22. Em seguida procedeu-se a reação de transesterificação via rota metílica.

Os processos da obtenção do Biodiesel estão descritos na figura abaixo:

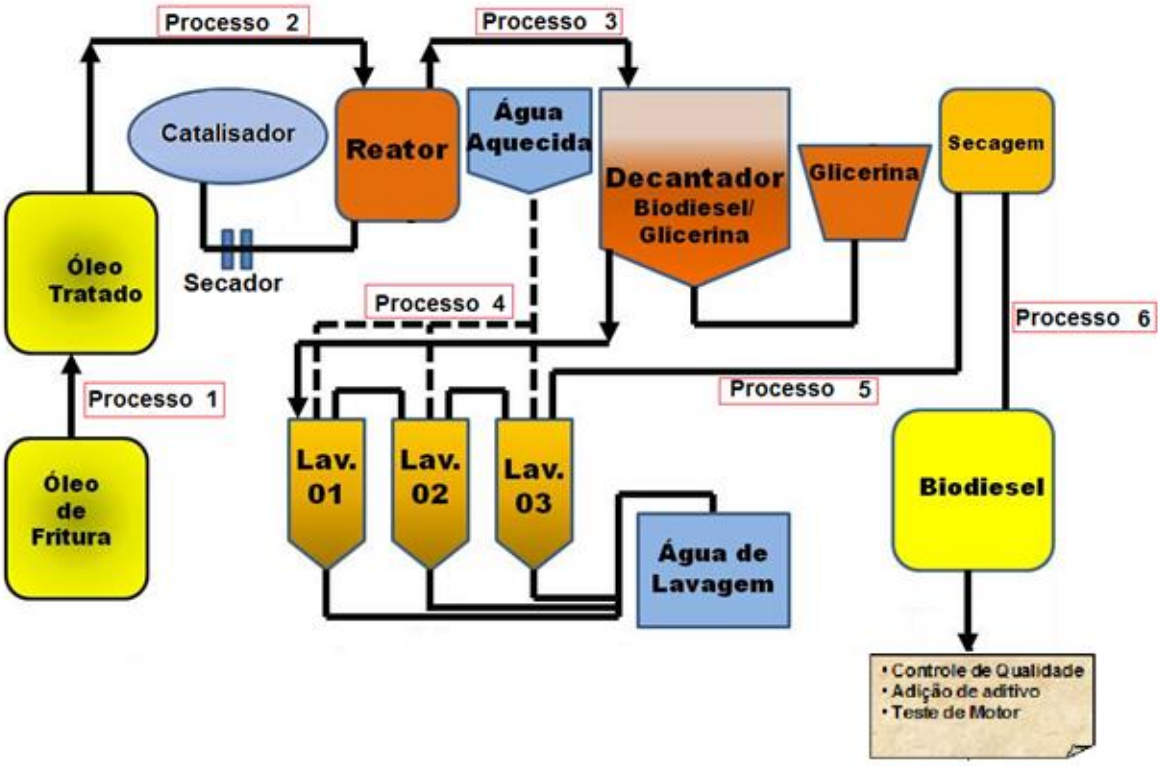


Figura 22 - Processos da obtenção do biodiesel

Após o tratamento do óleo bruto (Processo 1), onde é retirada as impurezas “grosseiras”, o óleo e colocado no tanque de óleo filtrado, a partir desse tanque começa a produção.

No processo 2 está localizado o tanque do Catalisador, como a produção segue a rota metílica temos nesse tanque a adição de metanol (CH_3OH) e hidróxido de potássio (KOH) formando metóxido de potássio (CH_3OK) e água (H_20). Para a retirada da água formada nessa reação, o produto do catalisador passa por um secador. Ao final desse processo o metóxido de potássio é adicionado no Reator com o óleo tratado, permanecendo dentro do tanque por aproximadamente 2 horas a uma temperatura de 70°C.

No processo 3 a mistura segue até o Decantador, onde permanece por mais 6 horas, separando assim a mistura em Biodiesel e glicerina. A glicerina resultante desse processo vai para o tanque de armazenamento.

A glicerina proveniente da usina de biodiesel, além do metanol recuperado e o óleo de fritura tratado são utilizados na fabricação de graxas lubrificantes (15-20%).

O Biodiesel separado da glicerina é um biodiesel que ainda apresenta muitas impurezas e pH básico (pH ~10). Para melhorar a qualidade do combustível, o biodiesel segue por três tanques de lavagem, processo 4. As lavagens com água levam consigo resíduos de sabões de sódio ou potássio, glicerina, ácidos graxos, bem como álcoois e outros possíveis contaminantes, como mostrado na Figura 23.

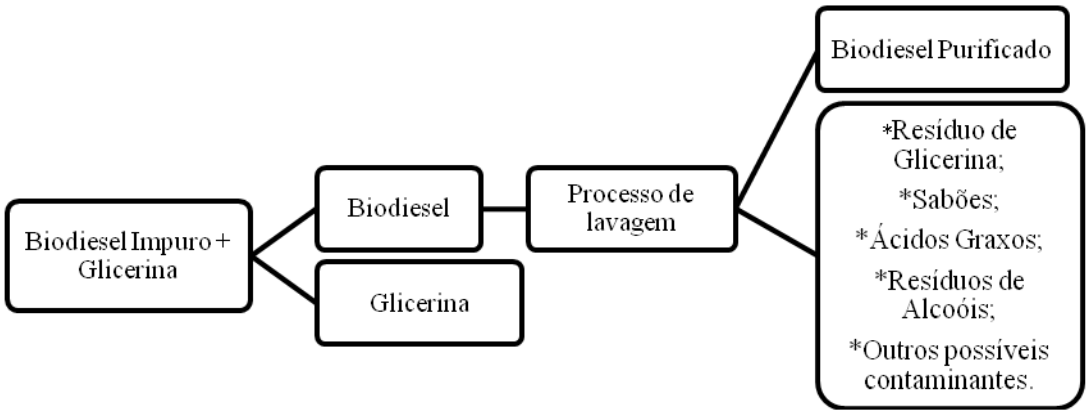


Figura 23 - Processo de purificação do Biodiesel (Noureddini, 2001)

No tanque Lavagem 01 o Biodiesel é misturado com água, na proporção de 1 para 1, e com 0,5% em volume de ácido clorídrico (HCl). Nesse processo, acontece a neutralização do pH do Biodiesel. Após duas horas, a água se separa do biodiesel por decantação. A água segue para o tanque Água de lavagem e o Biodiesel segue para o tanque Lavagem 02. Neste tanque o Biodiesel é misturado com água, na proporção de 1 para 1, e com 5% em volume de cloreto de sódio (NaCl). Esta etapa retira-se o sabão presente no Biodiesel. Após duas horas, a água se separa do Biodiesel por decantação e é enviada para o tanque Água de Lavagem enquanto o Biodiesel segue para o tanque Lavagem 03. Neste tanque o Biodiesel é misturado com água, na proporção de 1 para 1, retirando qualquer impurezas que ainda possam estar presentes no combustível. Após duas horas, a água se separa por decantação e é enviada para o tanque Água de lavagem enquanto o Biodiesel segue para o tanque Secagem.

O consumo de água destilada é de aproximadamente três litros para cada litro de Biodiesel produzido. As etapas de lavagem no processo de produção do Biodiesel são uma das mais importantes e mais cruciais para a obtenção de um Biodiesel de qualidade para uma conclusão eficiente do processo. Acrescenta ainda que as quantidades utilizadas de água e os métodos de tratamento para o reaproveitamento deste efluente devem ser mais explorados pelos pesquisadores (Goldani, Boni, Frankenberg, & Cantelli, 2008)

No tanque Secagem (processo 5) o Biodiesel é mantido a uma pressão de 200 psi e uma temperatura de cerca de 100ºC. Nesta etapa a água contida no Biodiesel, na forma de emulsão, é retirada, deixando o Biodiesel pronto para ser utilizado. Essa secagem é feita utilizando óleo térmico.

O Biodiesel segue para o tanque Biodiesel (processo 6) onde fica armazenado e passa por um processo de controle de qualidade para verificar se o combustível é adequado e depois e utilizado no teste de motor. Após esses primeiros testes se utiliza a adição de aditivos para melhorar o combustível e compará-los ao Biocombustível puro.

5.2 PRODUÇÃO MANUAL DE BIODIESEL

Em detrimento do não funcionamento da Microusina de Biodiesel da FGA, houve a necessidade de se produzir Biodiesel de forma manual em uma bancada montada no próprio Laboratório de Motor da Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro.

A produção segue os mesmo princípios da qual era feito o combustível na Microusina. Para a realização dos processos de produção do biodiesel foi necessário a montagem de um vasilhame de PVC, um mergulhão (aparato resistivo) no qual fornecesse aumento de temperatura e um misturador para dar homogeneidade a mistura (Figura 24).

Figura 24 - Aparato experimental para produção manual de Biodiesel.

Devido às limitações geométricas, foram obtidos cerca de 8L de Biodiesel para cada produção. Após a produção, uma amostra do produto é coletada e feita uma análise de qualidade do combustível.

A Figura 25 mostra as etapas que são requeridas para o processo de obtenção do Biodiesel. A primeira foto (da esquerda para direita e de cima para baixo) é exatamente a mistura de Óleo de Fritura com os catalizadores (metanol e hidróxido de potássio), observa-se nessa mistura um tom de marrom avermelhado, conforme se esquenta e faz a mistura por um determinado tempo começa a clarear. A segunda foto foi tirada após a etapa de adição de catalizadores e de aquecimento, no momento quase todo o Biodiesel (tonalidade mais clara) já estava separado da Glicerina (tonalidade mais escura). As três próximas figuras se remetem aos três processos de lavagem, do primeiro ao terceiro, de tons caramelo, marrom e branco, respectivamente. Detalhes de neutralização de pH, concentrações e matérias-primas utilizadas podem ser vistos no item 5.1. A última foto é o Biodiesel puro (B100), é o produto final.

Figura 25 - As diferentes etapas do processo de obtenção do Biodiesel.

Depois de cada etapa do processo de produção (transesterificação, lavagens e produto final) foi coletado uma amostra da mistura para uma análise de qualidade do Biodiesel.

6. METODOLOGIA DOS TESTES

Os testes dos motores podem ser divididos em dois grupos: (1) testes de velocidade variável (motores de automóveis e motores marítimos) e (2) testes de velocidade constante (motores geradores e motores bombas). Testes de velocidade variável podem ser classificados em testes com toda carga em que a máxima potência e o mínimo consumo específico de combustível nas diferentes velocidades são os objetivos, e testes com parte da carga máxima que visam determinar a variação do consumo específico de combustíveis. O teste de velocidade constante tem como principal propósito determinar o consumo específico de combustível (Obert, 1971).

No caso em questão será utilizado o teste de velocidade constante, devido ao motor ser estacionário e ser acoplado a um gerador.

O teste de velocidade constante é realizado, desde a condição sem carga até a condição de plena carga, variando a borboleta do acelerador. A variação da borboleta do acelerador será automaticamente aberta por meio do “governador”, que serve para ajustar a quantidade de combustível a fim de se manter a uma velocidade constante.

Os incrementos de carga devem ser adequados para permitir a obtenção de uma curva continua. Começa-se o teste do motor funcionando sem carga, atuando-se na borboleta até que a velocidade desejada seja atingida. Terminada a primeira corrida, coloca-se carga no motor, abrindo-se a borboleta de modo a manter a mesma velocidade (Obert, 1971).

Os testes em motores de compressão (Diesel) em boas condições, o aspecto dos gases de descarga dá uma ideia satisfatória da situação de carga da máquina. Porem deve-se sempre ter em mente que a cor da fumaça não é um índice absoluto da carga do motor, pois outros fatores podem comumente acarretar a produção de fumaça na descarga: injeção atrasada, compressão inadequada e injeção desigual.

7. AQUISIÇÃO DE DADOS

7.1 METODOLOGIA DOS ENSAIOS

a) Rotação do Motor

No motor estacionário esta especificada que o mesmo segue uma rotação constante de 1800 RPM, porém, como esse motor esta um tempo sem ser utilizado, é preciso validar essa afirmação.

Com isso adaptamos um sensor magnético preso à carcaça do motor próxima ao volante (Figura 26). No volante colocamos um parafuso para poder ler os pulsos no sensor, esse furo não desbalanceou o motor devido a sua rotação ser baixa. Como foi colocado apenas um parafuso, cada pulso é uma volta completa do volante. Assim temos entre os dois pulsos, o período do motor.

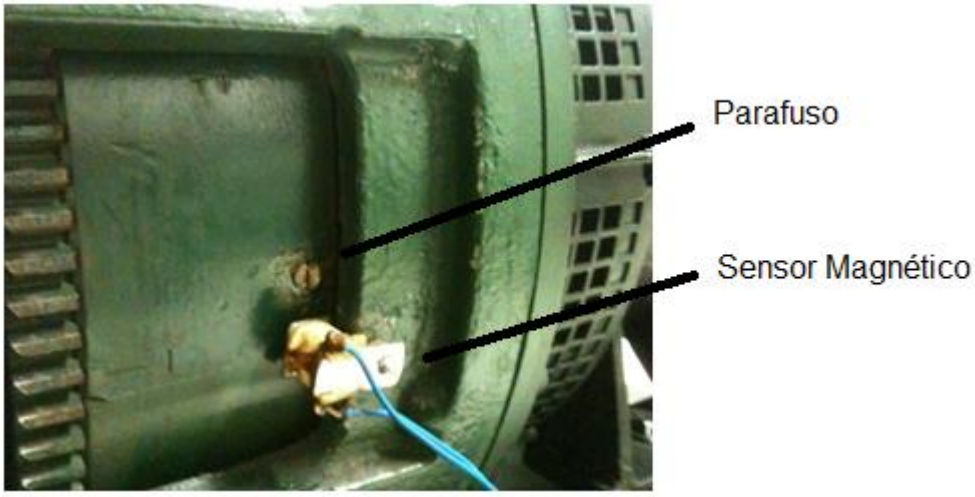


Figura 26 - Instalação do sensor magnético

Para a leitura dos pulsos foi utilizado um osciloscópio digital (Figura 27).

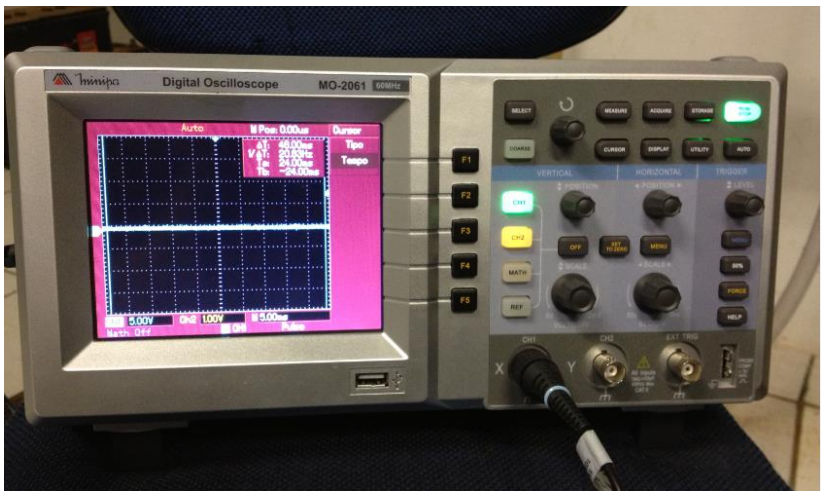


Figura 27 - Osciloscópio Digital

Ao ligar o motor e colocar o osciloscópio para funcionar pausamos a sua tela com dois picos de leitura, ou seja, dois pulsos, o que caracterizam duas voltas. A figura abaixo mostra a leitura entre os dois picos.

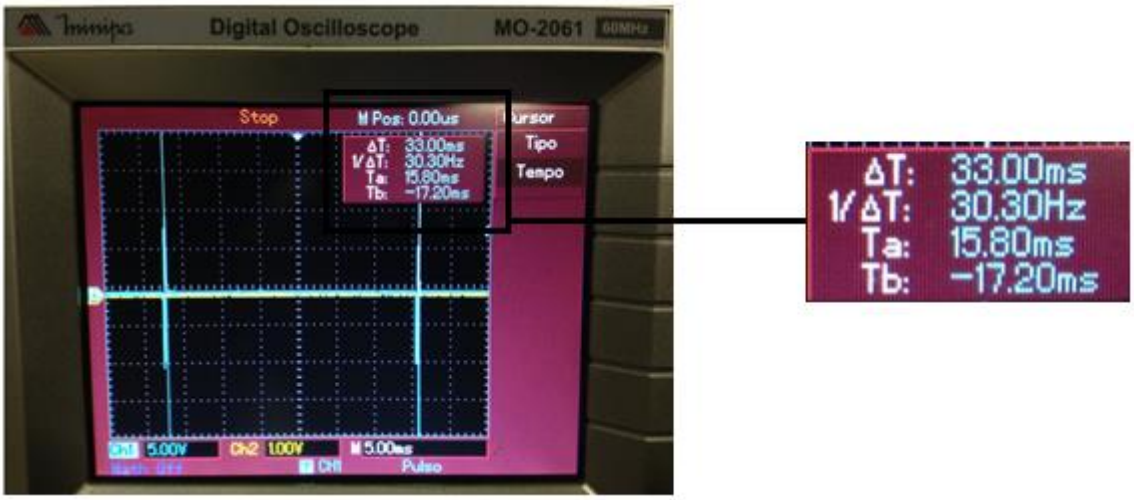


Figura 28 - Leitura do motor

Sendo assim, foi calculado que o motor funciona a uma frequência de 30,30 Hz, sem nenhuma carga aplicada.

$$Rotação = f * 60$$

$$Rotação = N = 1818\, RPM$$

Com isso tem-se a certeza que o motor opera na faixa dos 1800 RPM, faixa que o fabricante estipula. O erro mostrado de 18 RPM acontece por duas incertezas. A primeira é causada pelo aparelho (osciloscópio), pois para se marcar os dois picos no leitor se usa um mecanismo manual sensível causando erros ao se posicionar o leitor a linha para a leitura dos picos. A segunda incerteza se dá pelo governador (dispositivo instalado no motor que ajusta a bomba injetora para manter a velocidade constante). Como o governador é mecânico temos um erro associado a ele de até 5%.

Para cada teste realizado será verificado a rotação do motor a fim de constatar pequenas variações que o motor pode ter e averiguar se essa variação esta dentro de limites aceitáveis na prática.

b) Retirada do combustível antigo

Em cada teste realizado é necessário à retirada dos restos de combustível antigo dentro do motor, pois pode influenciar nos resultados dos testes de outro combustível por alteração de concentração de mistura.

Como foi feita alimentação direta de combustível, é desacoplada a mangueira de combustível do motor e então retirado todo o combustível presente nela. Posteriormente, é adicionado o novo combustível ao reservatório e consequentemente a mangueira e só assim é conectada de volta ao sistema de alimentação a mangueira.

Para dar procedimento ao próximo combustível temos que "sangrar" o motor para retirar o ar que está dentro da bomba. Esse "sangramento" é feito por meio de dois parafusos encontrados em cima da bomba injetora. Após afrouxar os parafusos damos partida no motor ate o combustível começar a escorrer, concluindo que não existe ar dentro do motor. Depois voltamos os parafusos para posição inicial e podemos dar a partida normal.

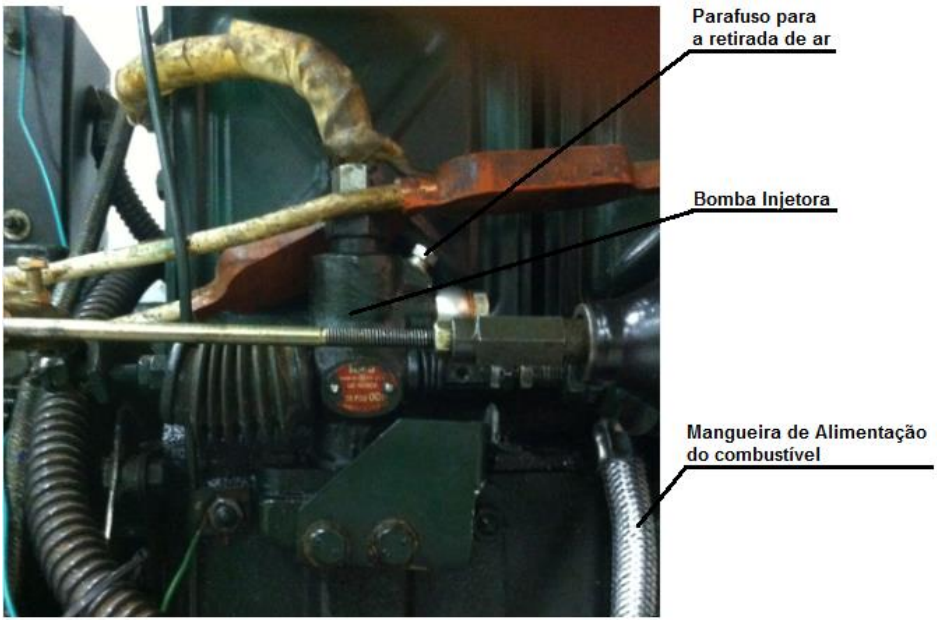


Figura 29 - Componentes da bomba injetora

Mesmo com a preocupação da retirada correta de todo o combustível antigo ainda é necessário que o motor funcione por um determinado tempo para poder coletar os dados.

7.2 MEDIÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

A fim de medir o consumo de combustível de um motor, pode ser usado um sistema de balança e um cronômetro, sendo simples e preciso, e tendo uma aceitação universal. Para a medição do projeto são usadas uma balança digital e uma câmera filmadora.

Com esses parâmetros mediremos o consumo específico de combustível. Esse é o elemento de análise de desempenho mais importante para um motor estacionário.

Foi estipulada uma medição do peso da balança a cada 15 segundos, tirando quatro medidas - totalizando um minuto de medição - para ter a média de consumo para cada carga em diferentes combustíveis.

A medição do combustível só começa a ser efetuada depois que o motor permanece com uma rotação constante (aproximadamente 1800 RPM). Isso se dá, pois ao adicionar carga força-se o motor a trabalhar com mais potência, decaindo assim sua rotação. Porém o "governador" (válvula que ajusta o combustível) é acionado puxando maior quantidade de combustível para se elevar a rotação e deixá-la na faixa de trabalho (1800 RPM). A partir da rotação estabilizada começamos a medição.

Dados de leitura da balança:

- Massa máxima: 4100g;
- Massa mínima: 0,5g;
- Incerteza Instrumental: 0,01g.

Figura 30 - Balança digital

Em testes de motores o consumo de combustível é medido através da vazão mássica $\dot{m}$, massa de combustível por unidade de tempo. Outro parâmetro mais útil, o consumo específico de combustível

(sfc), taxa de combustível consumido por unidade de potência fornecida, pode mostrar o quão eficiente um motor está utilizando o combustível para produzir trabalho.

$$sfc = \frac{\dot{m}}{bhp}$$

Quanto menor for o valor de (sfc), maior será o aproveitamento ou a eficiência do motor em produzir trabalho.

Após as medições do consumo do combustível ser obtido, utilizam-se esses valores para obter uma média do consumo bem como um desvio padrão da média.

7.3 APLICAÇÃO DE CARGAS RESISTIVAS

Este item abrange como será feita a imposição de cargas no sistema bem como a leitura da potência fornecida pelo motor.

O acionamento das resistências é feito chave a chave (vide Figura 31) proporcionando assim um aumento ou diminuição linear da carga.

Figura 31 - Chaves para acionamento das resistências.

Por exemplo, para se aplicar no motor uma carga de 1 kW basta ligar a chave correspondente a resistência de 1kW na caixa de comando do banco de resistências. Para se aplicar uma carga de 2 kW, desliga-se a chave correspondente a carga de 1 kW e, então, liga-se a chave que corresponde a uma resistência de 2 kW. Para maiores cargas, as resistências são ligadas em conjunto, ou seja, duas ou mais chaves são ligadas ao mesmo tempo.

Abaixo, um passo a passo de como efetuar o teste de forma precisa, segura e organizada:

- Primeiramente, o motor é ligado;
- Verifica-se a rotação do motor de acordo com o item 7.1 a)Rotação do Motor;
- É feita a medida do consumo de combustível para o funcionamento sem carga, como descrito no item 7.2;
- Liga-se a primeira carga (1 kW).
- É feita a medida para a primeira carga:

- Do consumo de combustível pela balança digital;
- Da potência de eixo por meio da medição de corrente e tensão com um multímetro digital de precisão
- Das taxas de emissões pelo aparato de emissões AVL.

- Liga-se a segunda carga (2 kW) obtém-se as medidas de consumo, potência de eixo e emissões e, assim, sucessivamente, até que se chegue na última carga (11 kW);

8. RESULTADOS

8.1 ANALISE DAS MISTURAS E DO BIODIESEL PURO

Após a realização das mais variadas misturas de biodiesel com o óleo diesel puro (B10, B15, B25, B50, B75) e do biodiesel puro foram feitos os testes para obter a qualidade.

A espectroscopia na região infravermelho médio é uma tecnica adequada para quantificar e analisar o biodiesel present na mistura.

Conforme é visto na Figura 32 temos as bandas características de cada combustível. Essas bandas demonstram, conforme a sua intensidade de pico, a quantidade de biodiesel presente.

A faixa da banda de Carbonila serve para ver a quantidade de biodiesel presente na mistura. Como o óleo diesel é um hidrocarboneto, e não possui substâncias carboniladas, os quais estão presentes no biodiesel. Quanto maior o pico nessa faixa maior a quantidade de biodiesel presente.

Como não apareceram outros picos no demonstrativo das bandas podemos associar que os combustíveis não apresentam outras substancias. O que o classifica com uma boa qualidade.

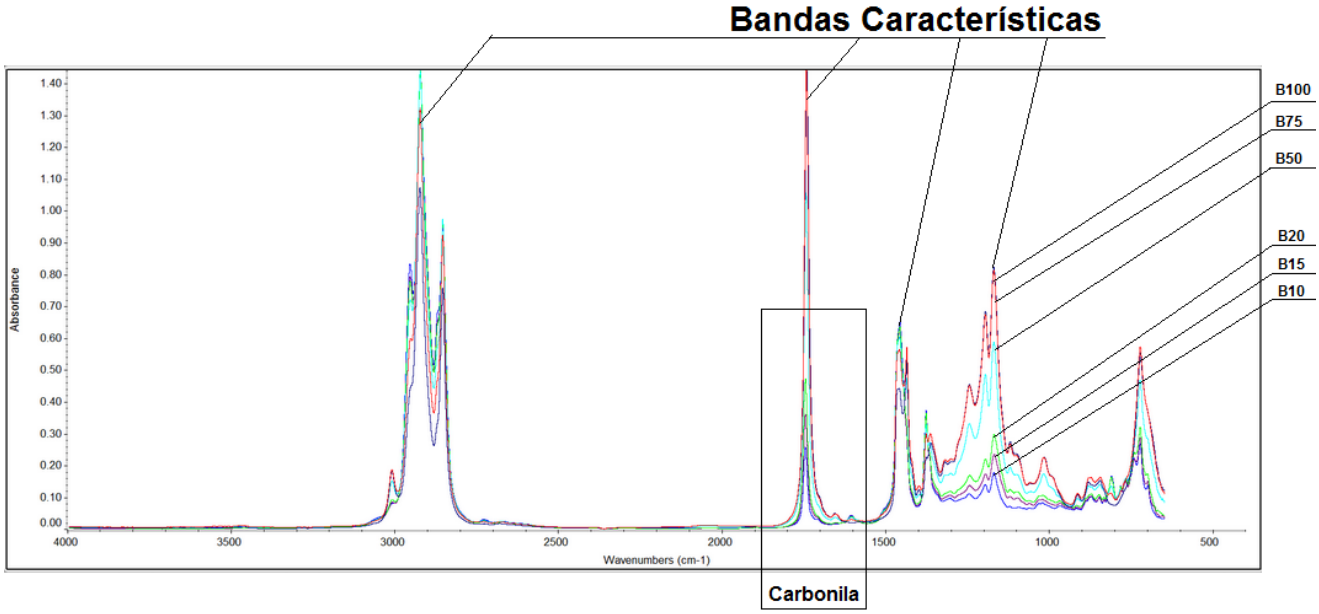


Figura 32 - Bandas características das misturas de biodiesel e do biodiesel puro

A figura em maior tamanho para analise se encontra na seção 13.4.

8.2 RESULTADO DA POTÊNCIA DE ATRITO

8.2.1 Teste de Morse

Ligando o motor e estabilizando a rotação (1800 RPM). Um cilindro é desligado por meio do comando da ignição do motor (vide seção 4.2.1a) e é feito uma medição de potência para apenas aquele cilindro em funcionamento. Com isso, e a partir da medição de potência feita para os dois cilindros e com as potências de cada cilindro separado é possível estimar a potência parasita ou a potência de atrito do motor. Essa potência é devida aos atritos vencidos pelos pistões, e por todo o atrito entre engrenagem e correias.

A potência deve ser lida em cada pistão separado, pois como é visto nas tabelas abaixo cada um apresenta diferentes bombas injetoras, ou seja, injeções diferentes em cada câmara.

Tabela 7 - Potência de Eixo para diferentes quantidades de pistões.

Fator de Potência	Quantidade de Pistões	Carga (kW)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Potência de Eixo (kW)	Potência de Atrito (kW)
0,8	2	11,0	10,5 / 12,6 / 15,7	220 / 216 /213	8,376	6,934
	1 (Direito)	1,0	3,2	210,0	0,672	
	1 (Esquerdo)	1,0	3,5	220,0	0,770	

Tabela 8 - Rotação por minuto pela quantidade de pistões funcionando

Quantidade de Pistões	RPM
2	1754,4
1 (Direito)	1796,4
1 (Esquerdo)	2013,6

O cálculo da potência de atrito foi feito com base na equação 4.5.3.

$$fhp = 6{,}934\ kW$$

8.2.2 Método da Linha de Willian

Para o método da linha de Willian utilizamos um dos resultados dos testes que será visto no próximo capitulo.

O teste foi do B5 Comercial (Óleo Diesel Comercial). O gráfico de potência de eixo pelo consumo médio foi utilizado para se alongar uma reta para saber qual a potência de atrito gerado pelo motor. Maiores explicações vide 4.5 b).

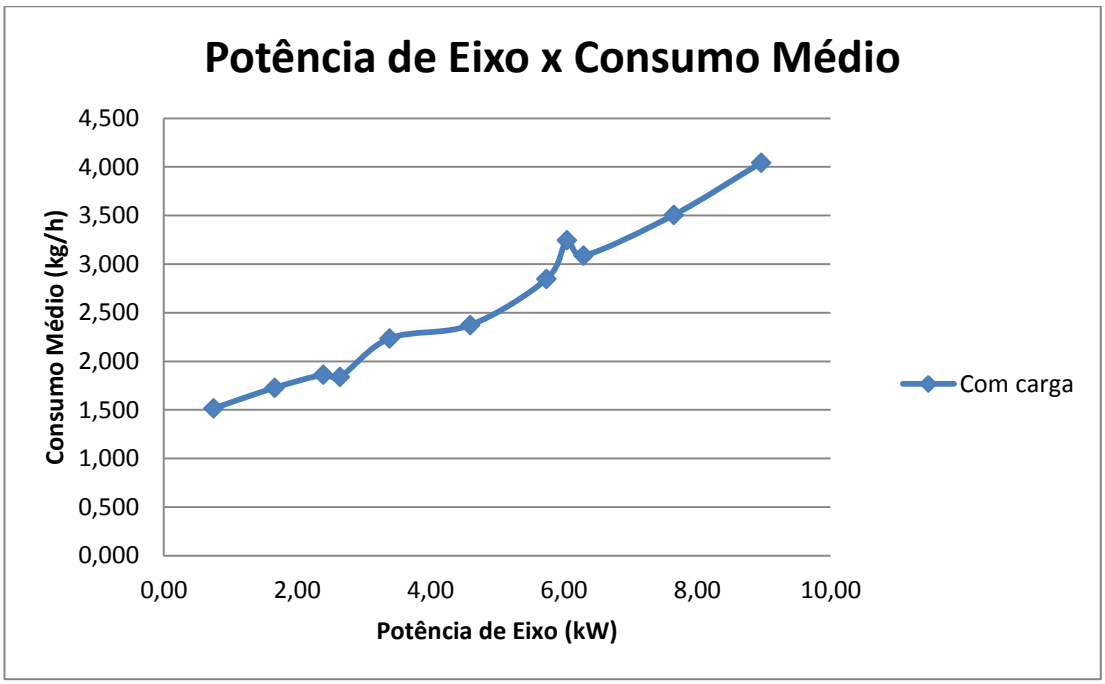


Figura 33 – B5 Comercial, exemplo para o Método da Linha de Willian.

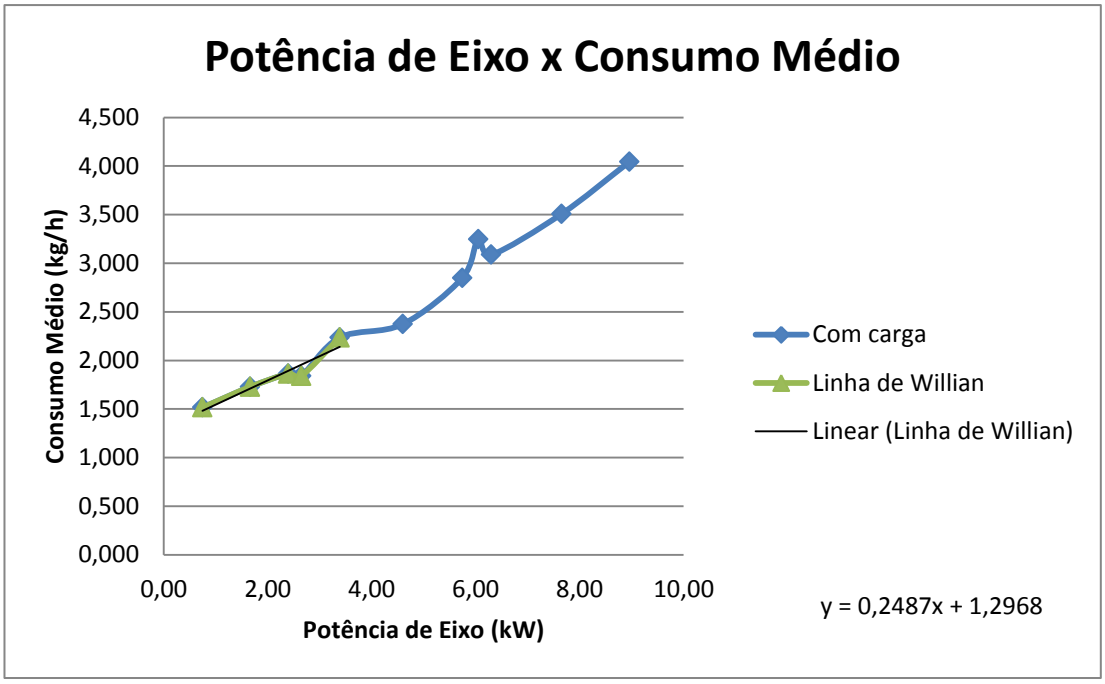


Figura 34 - Aplicação do Método da Linha de Willian, B5 Comercial.

A reta de tendência foi calculada com base nos cinco (5) primeiros pontos do gráfico, isso é devido ao gráfico não ser linear, assim para diminuirmos o erro adicionamos os pontos do começo que mais se assemelham a uma reta.

Com a equação da reta: $y = 0{,}2487x + 1{,}2968$, temos como calcular a potência de atrito sabendo onde essa reta se encontra com o eixo das abcissas, ou seja, $y = 0$.

$$0{,}2487x + 1{,}2968 = 0$$

$$fhp = x = 5{,}2143\ kW$$

Os cálculos pelos dois métodos se diferenciam devido a metodologia aplicada em cada um. Os dois métodos não são precisos porem os dois são satisfatórios.

8.3 RESULTADO DOS TESTES

8.3.1 B5 Comercial

- **Potência de Eixo**

O combustível utilizado no primeiro teste foi o Óleo Diesel comercial, ou B5 comercial, que contém 5% de biodiesel. Teste esse realizado com o motor operando sem carga e com carga resistiva, onde foram aplicadas cargas de 1 kW até 11 kW.

Para começo dos testes foi obtido todas as potências de eixo (bhp). Na tabela 7 segue a tensão, a corrente em cada fase (motor trifásico) podendo calcular o valor da potência de eixo. O fator de potência de 0,8 (indutivo) já esta devidamente multiplicada ao resultado.

Tabela 9- Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B5 Comercial.

Potência									
	Fase 3		Fase 2		Fase 1				
Carga (kW)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Frequência (Hz)	RPM	Potência de Eixo (kW)
0,0	0,0	210,0	0,0	210,0	0,0	210,0	29,94	1796,4	0,00
1,0	3,4	219,0	0,0	220,0	0,0	220,0	29,94	1796,4	0,74
2,0	0,3	221,0	0,4	213,0	7,3	207,0	29,94	1796,4	1,66
3,0	3,3	222,0	0,3	222,0	7,6	210,0	29,94	1796,4	2,40
4,0	0,3	220,0	4,7	206,0	7,7	209,0	29,94	1796,4	2,64
5,0	3,0	221,0	4,9	215,0	7,8	214,0	29,94	1796,4	3,39
6,0	7,4	222,0	5,3	225,0	8,0	220,0	29,59	1775,4	4,60
7,0	12,0	223,0	5,5	234,0	7,9	225,0	29,59	1775,4	5,74
8,0	7,4	227,0	5,2	224,0	15,4	208,0	29,59	1775,4	6,05
9,0	2,5	225,0	12,4	200,0	15,8	206,0	29,59	1775,4	6,30
10,0	6,9	224,0	13,3	210,0	15,7	211,0	29,07	1744,2	7,65
11,0	11,5	221,0	13,5	221,0	15,9	216,0	29,07	1744,2	8,96

Tendo a potência de eixo e a potência de atrito calculada (teste de Morse) pode-se achar a potência indicada (ihp) por meio da equação (4.5).

Tabela 10 - Potência Indicada, B5 Comercial.

Carga (kW)	Potência Indicada (kW)	Potência de Eixo (kW)	Potência de Atrito (kW)
Sem	6,864	0,00	6,864
1,0	7,604	0,74	6,864
2,0	8,524	1,66	6,864
3,0	9,264	2,40	6,864
4,0	9,504	2,64	6,864
5,0	10,254	3,39	6,864
6,0	11,464	4,60	6,864
7,0	12,604	5,74	6,864
8,0	12,914	6,05	6,864
9,0	13,164	6,30	6,864
10,0	14,514	7,65	6,864
11,0	15,824	8,96	6,864

Pode-se somar o valor da potência de atrito a todas as potências de eixo, pois se assume o valor da potência de atrito igual para as diferentes cargas num mesmo combustível.

- **Consumo de Combustível**

Com as potências calculadas partiu-se para a segunda parte do teste, onde se encontra o consumo especifico e o consumo médio. As medidas de consumo foram feitas como determinadas na seção 7.2.

Abaixo uma tabela do consumo médio e do consumo específico para o combustível B5 comercial. A Tabela 11 mostra com detalhe as medições de consumo (quatro) para cada carga aplicada ao motor e também para o motor operando sem carga. Com a aquisição dessas quatro medições, é feito uma média e uma conversão de unidades resultando em valores de Consumo Médio e de também Consumo Específico.

Tabela 11 - Medição de consumo de combustível, B5 Comercial.

Consumo								
Carga	Consumo a cada 15s				Consumo Médio (g/15s)	Consumo Médio (kg/h)	Consumo Específico (g/kWh)	Desvio Padrão (g/15s)
	1	2	3	4				
0,0	4,03	5,02	5,05	5,53	4,908	1,178	171,591	0,630
1,0	6,53	6,56	5,94	6,22	6,313	1,515	199,117	0,292
2,0	8,07	6,63	7,31	6,78	7,197	1,727	202,590	0,651
3,0	7,81	7,36	8,28	7,58	7,757	1,862	201,076	0,394
4,0	7,48	8,04	7,75	7,37	7,660	1,838	193,363	0,299
5,0	8,35	9,37	8,67	10,87	9,315	2,236	218,114	1,121
6,0	11,18	7,26	11,35	9,74	9,883	2,372	206,976	1,892
7,0	13,05	10,83	10,58	12,98	11,860	2,846	225,824	1,338
8,0	14,99	11,75	12,39	14,95	13,520	3,245	251,305	1,695
9,0	8,80	12,96	17,89	11,78	12,858	3,086	234,460	3,784
10,0	14,78	16,03	13,77	13,86	14,610	3,506	241,566	1,051
11,0	16,34	17,65	15,880	17,530	16,850	4,044	255,571	0,876

A partir dos dados da Tabela 11 e da Tabela 11, obtiveram-se gráficos da Potência de Eixo pelos consumos Médio e Específico para cada carga aplicada e para o regime sem carga.

Abaixo, o gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio.

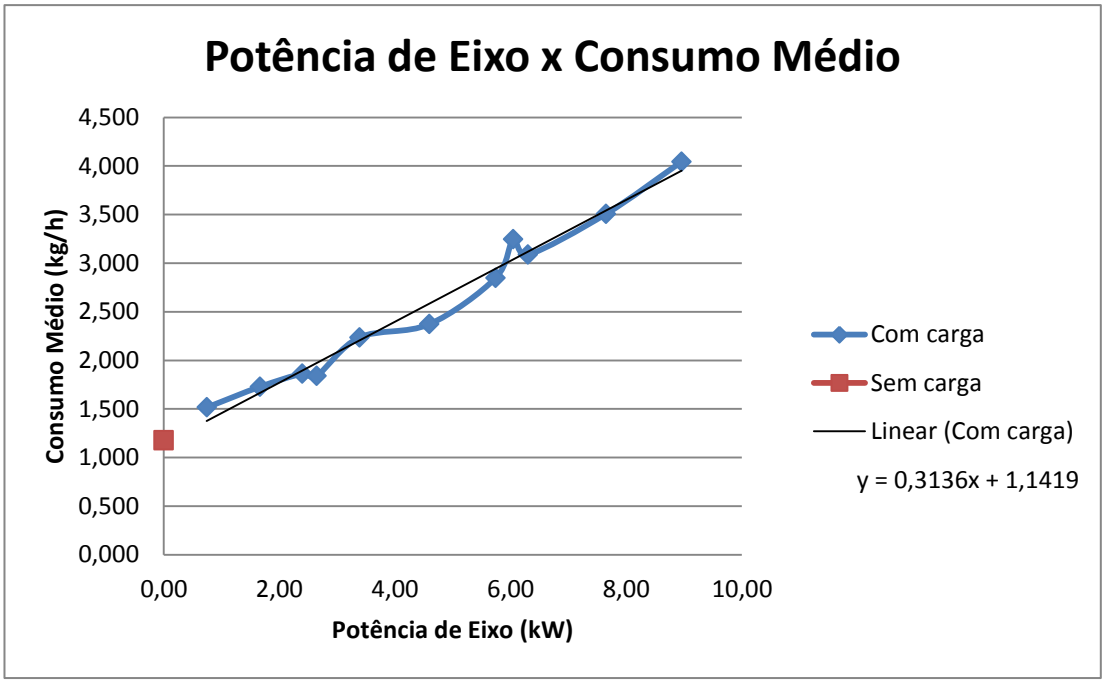


Figura 35 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B5 Comercial.

Observa-se que a linha que contém os dados segue, com certa tolerância (desvio padrão), a linha de tendência. A interpolação dos pontos confirmar que a relação entre a Potência de Eixo e o Consumo Médio é dada como linear (Figura 35), devido ao rendimento térmico ser constante. Com o aumento da potência de eixo temos que o governador mecânico injetada mais combustível na câmara de combustão para manter a mesma rotação.

O ponto sem carga apresenta-se deslocado da reta devido às potências de eixo do motor com as cargas aplicadas serem superiores. A diferença é grande, pois a menor carga que se pode aplicar no motor gera uma potência de eixo elevada e o motor sem carga gera uma potência de eixo relativamente baixa.

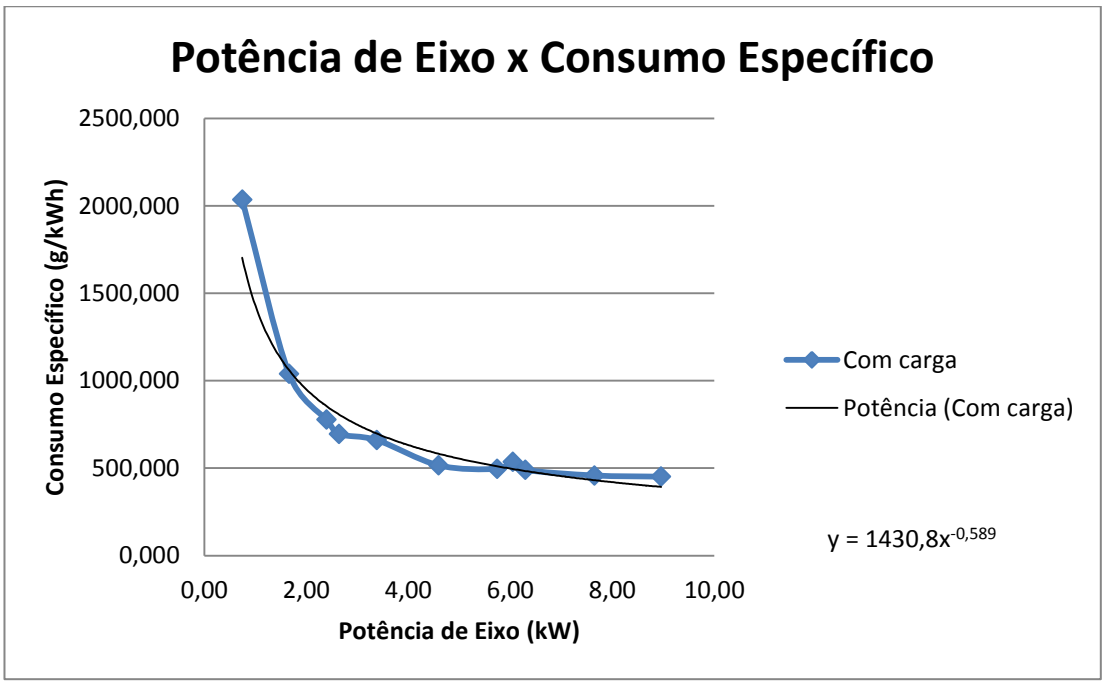


Figura 36 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B5 Comercial.

A relação entre a Potência de Eixo e o Consumo Específico foi verificada como uma relação inversamente proporcional, mais precisamente uma relação de potência onde o aumento da Potência de Eixo gera uma diminuição do Consumo Específico, visto que, o último é a razão entre o Consumo Médio pela própria Potência de Eixo (Figura 36).

O ponto sem carga não é atribuído ao gráfico Potência de Eixo x Consumo Específico, pois o valor de consumo para esse ponto é indeterminado, razão entre o consumo e a potência (que neste caso é zero).

- **<u>Potência de Atrito</u>**

A potência de atrito para as diferentes misturas como para o biodiesel comercial será calculada pelo método da linha de Willian (seção 8.2.2). A escolha foi devida a facilidade do processo e uma boa confiabilidade do método.

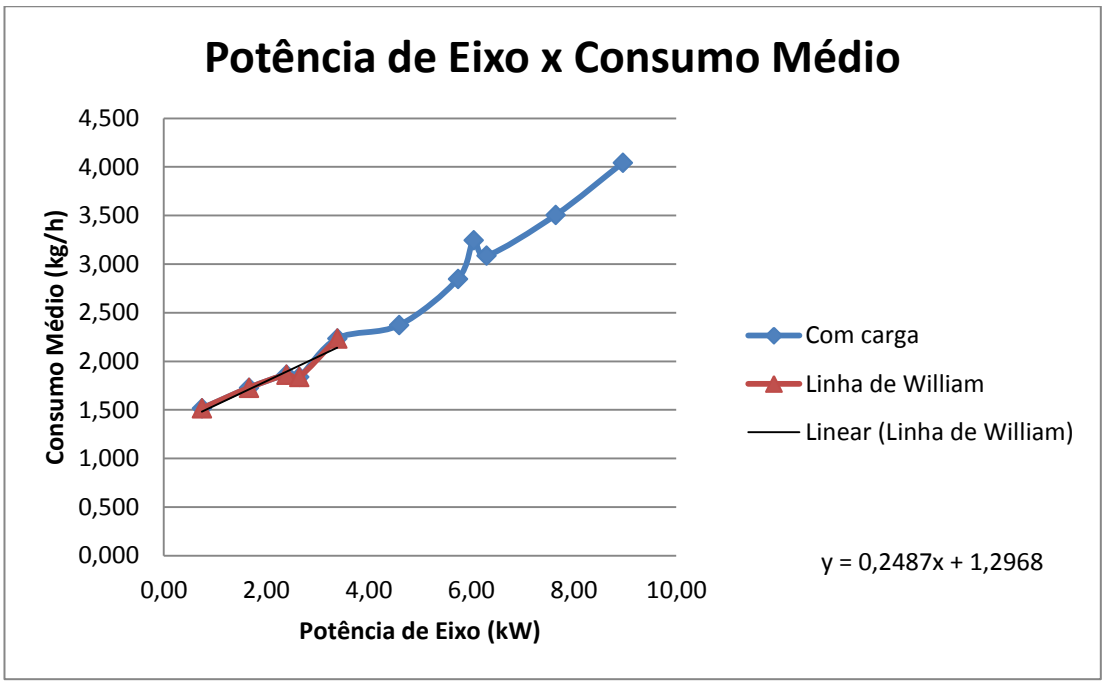


Figura 37 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B5 Comercial.

$$fhp = 5{,}2143\ kW$$

- **<u>Emissões</u>**

Com o analisador de gases devidamente instalado e respeitando as condições impostas na seção 4.4 medem-se as emissões causadas pela B5 comercial.

Tabela 12 - Tabela de emissões para B5 Comercial.

Emissões				
Carga	CO (% vol.)	COc (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm)
0,0	0,02	0,05	5,5	132
1,0	0,02	0,02	6,4	136
2,0	0,03	0,06	6,9	144
3,0	0,04	0,08	7,4	150
4,0	0,04	0,08	7,5	152
5,0	0,06	0,11	8	154
6,0	0,12	0,21	8,9	159
7,0	0,28	0,4	9,8	159
8,0	0,38	0,54	10,1	160
9,0	0,5	0,7	10,3	160
10,0	1,03	1,27	10,1	160
11,0	2,02	2,29	11,2	162

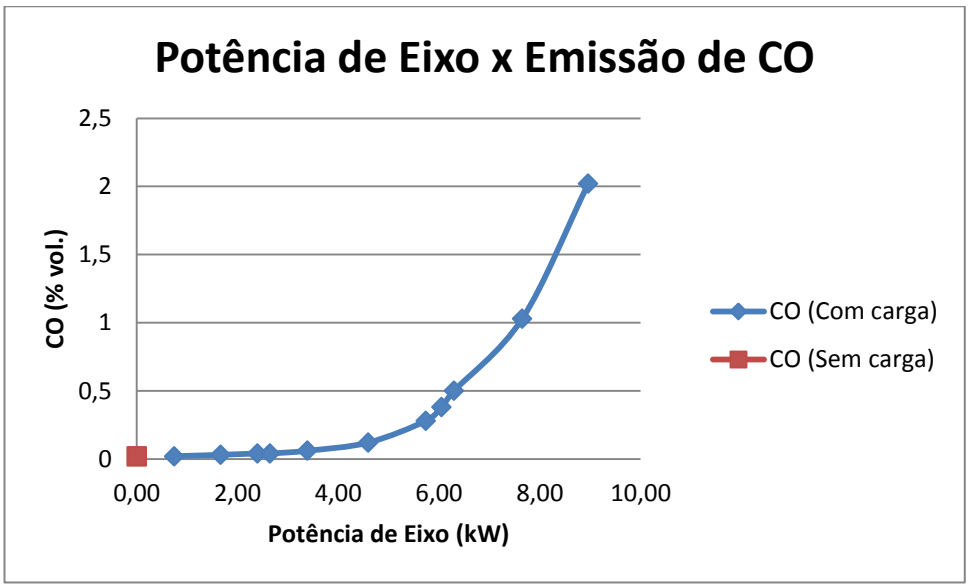


Figura 38 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B5 Comercial.

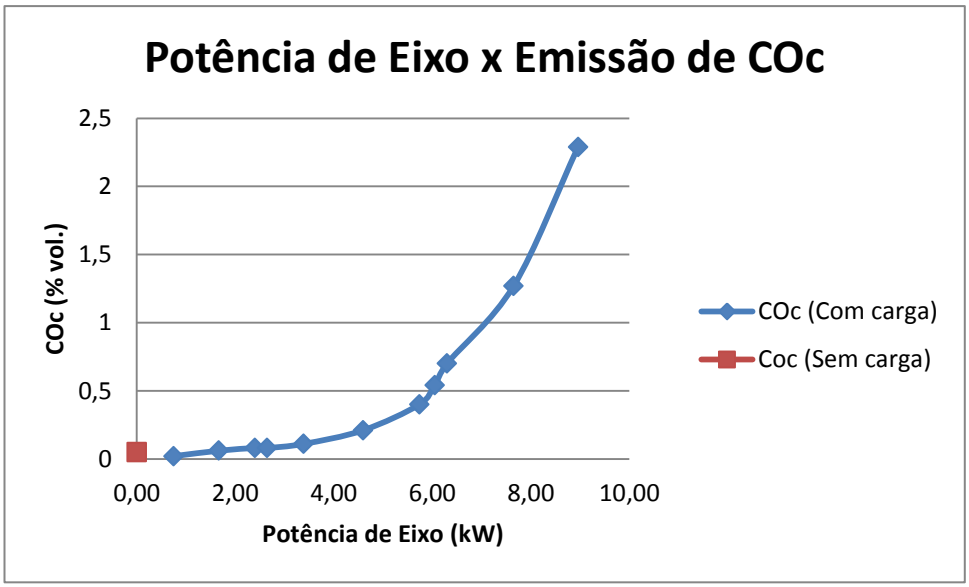


Figura 39 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B5 Comercial.

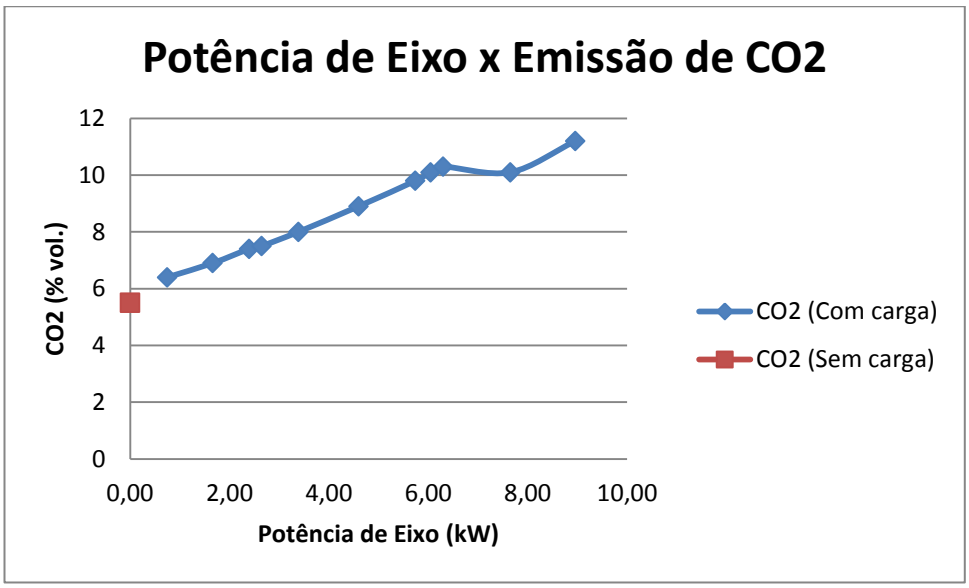


Figura 40 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B5 Comercial.

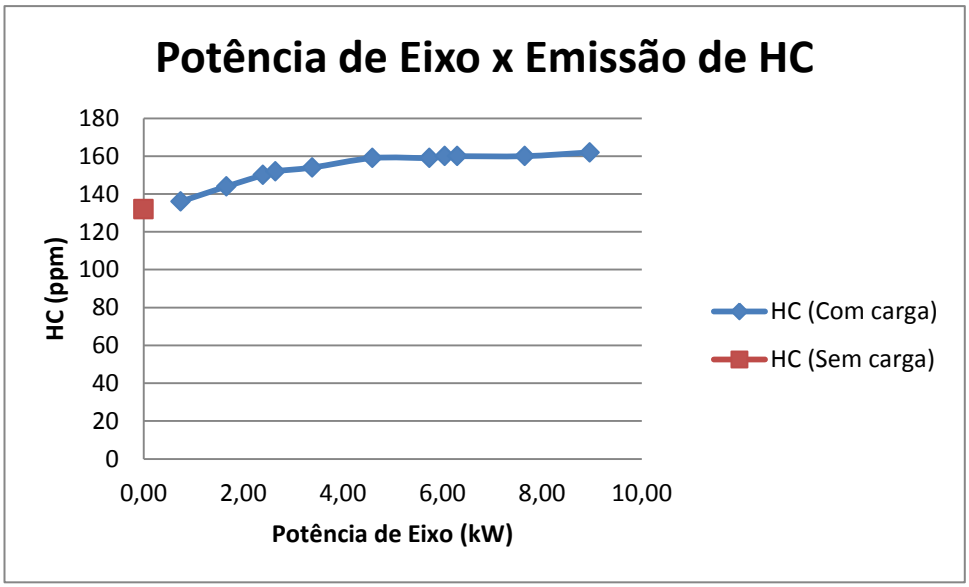


Figura 41 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B5 Comercial.

Os gráficos acima demostra que as emissões estão diretamente relacionadas a potência de eixo, ou seja, a aplicação da carga no motor.

Um maior aumento de carga acarreta em maiores emissões de CO e CO_2, isso é devido ao maior consumo que o motor necessita para se manter numa rotação constante. As taxas tanto de CO como de CO_2 tendem a manter uma tendência conforme há um aumento de carga, porém os dois últimos pontos estão deslocados devido a cargas de 10 kW e 11 kW serem o máximo que o motor suporta. Vale ressaltar que o motor é de 12,5 kVA, e com um fator indutivo de 0,8 teremos para o motor um máximo de 10kW.

A emissão de HC (Hidrocarbonetos não queimados) não tende a aumentar conforme o aumento de carga. Isso ocorre devido a eficiência do motor se comportar diferente para cada carga numa mesma rotação.

Onde o motor se torna mais eficiente (eficiência de combustão) temos uma menor taxa de emissão de HC, pois haverá uma melhor combustão do combustível na câmara consequentemente maior parte do combustível injetado no motor será queimado de maneira correta fazendo com que se tenha menos emissões de hidrocarbonetos não queimados.

8.3.2 B0 (Diesel Puro)

Usando a mesma metodologia de teste, obtiveram-se as seguintes medidas para o B0:

- **Potência de Eixo**

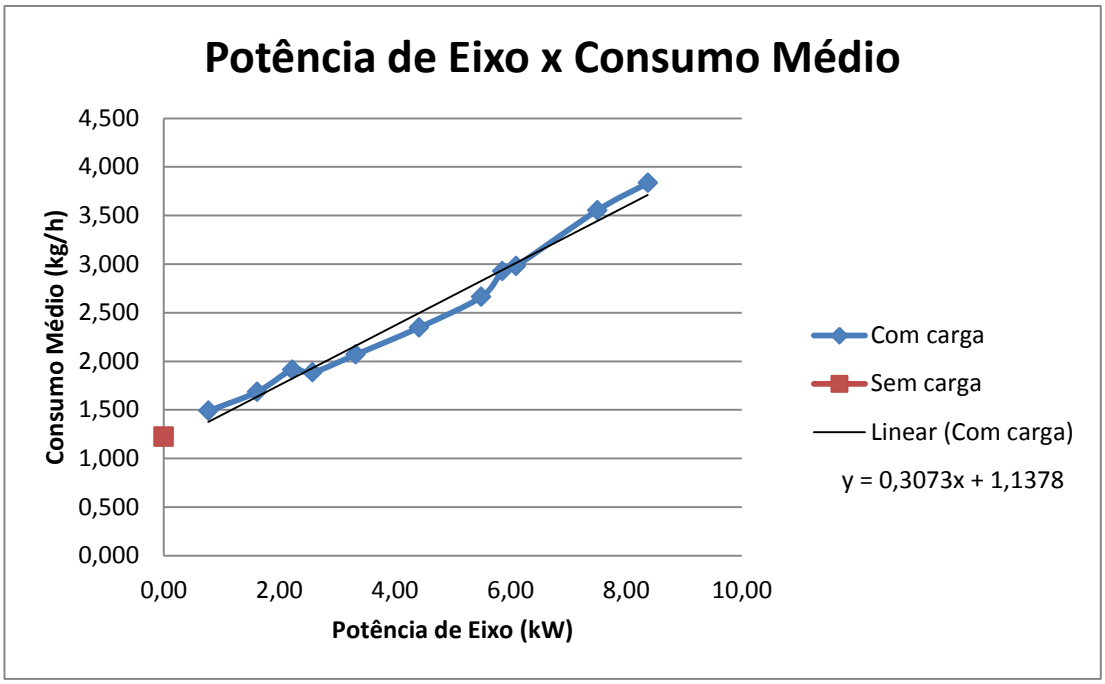


Figura 42 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B0.

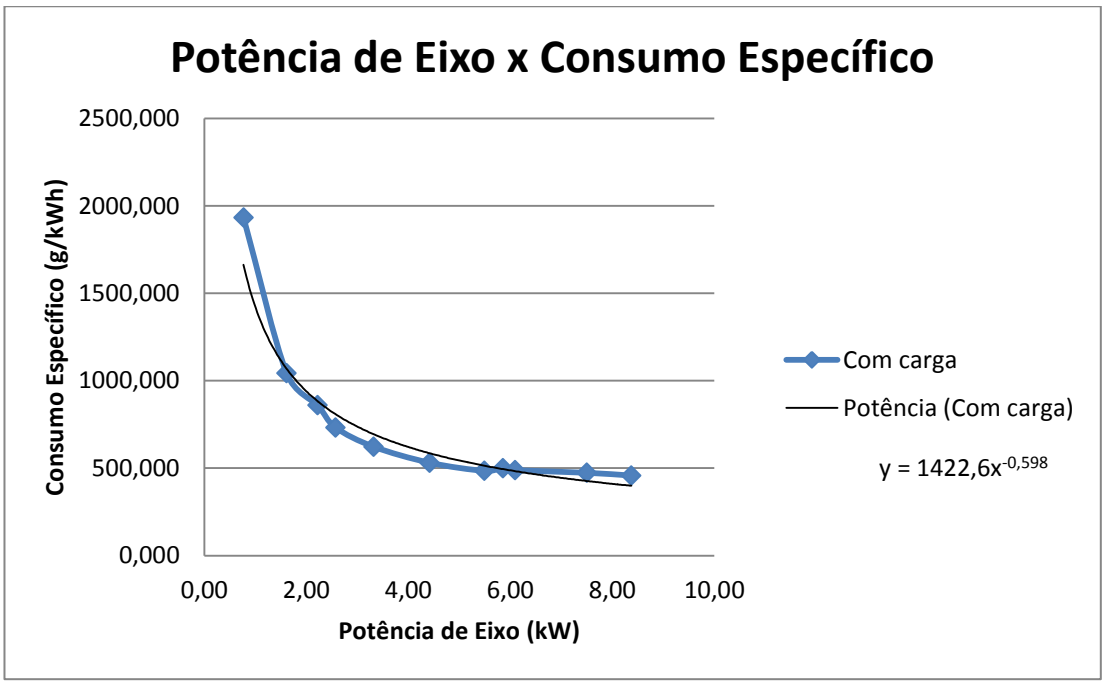


Figura 43 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B0.

- **<u>Potência de Atrito</u>**

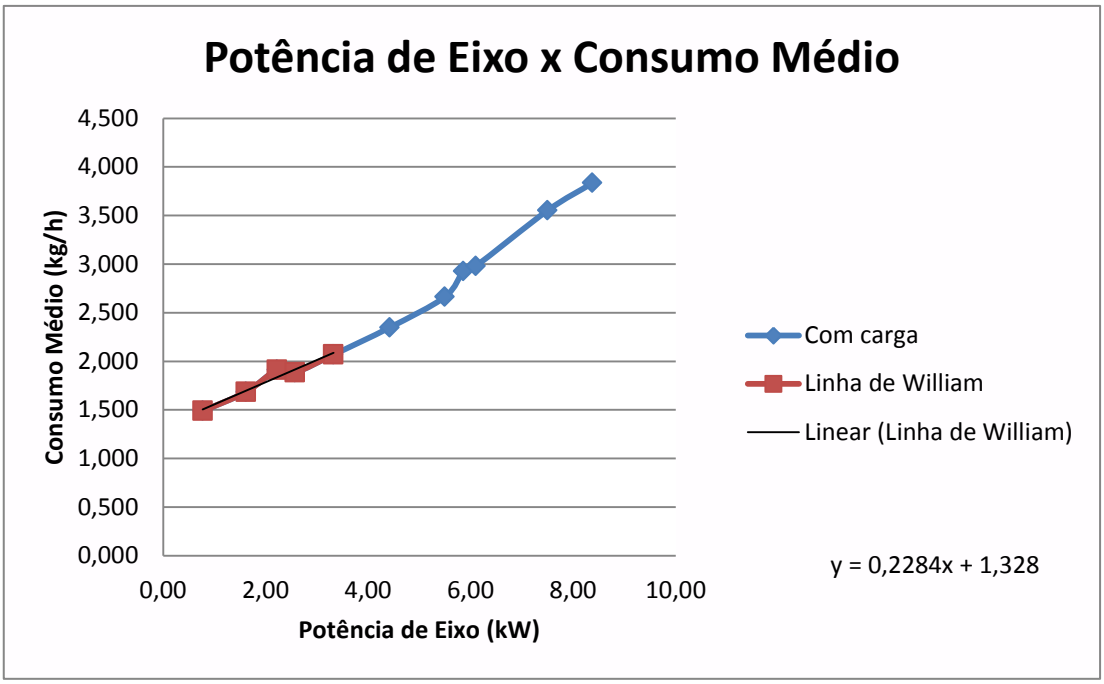


Figura 44 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B0.

$$fhp = 5{,}8143\ kW$$

- **Emissões**

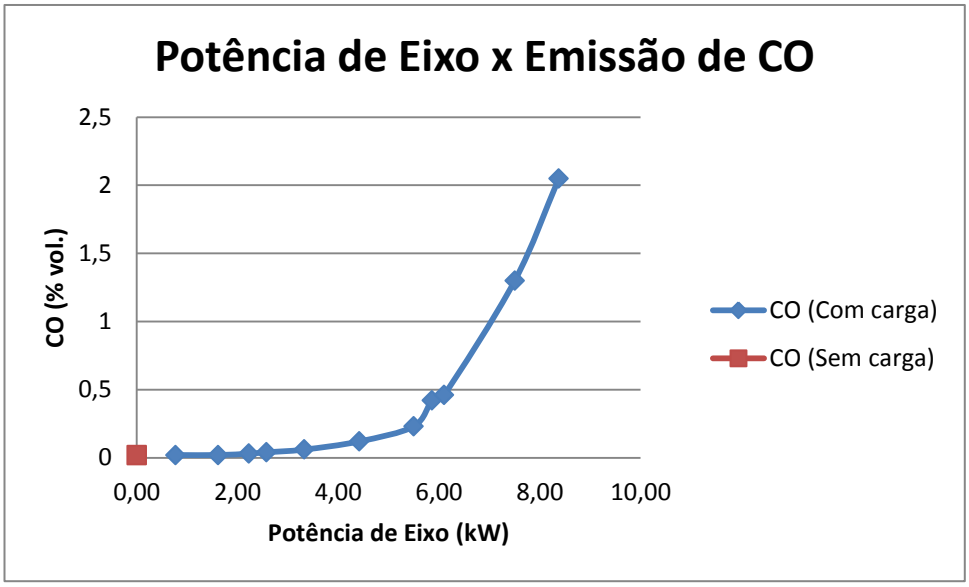


Figura 45 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B0.

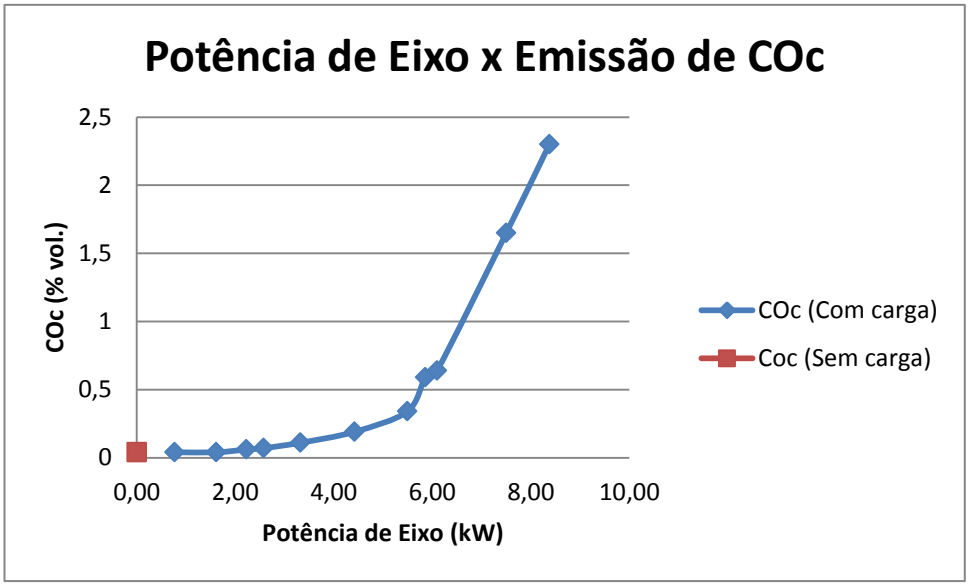


Figura 46 – Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B0.

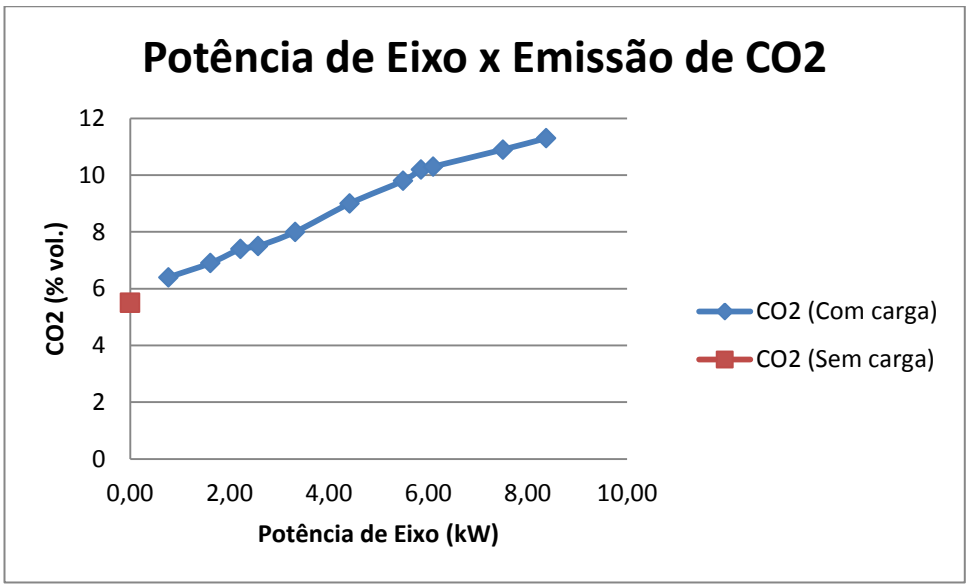


Figura 47 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B0.

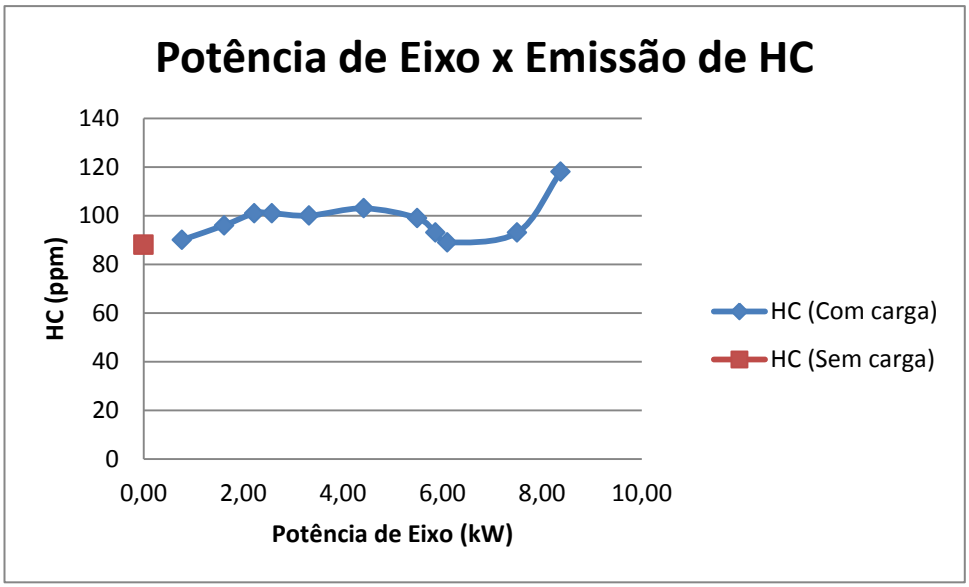


Figura 48 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B0.

8.3.3 B5 (Mistura de 5% de Biodiesel em Óleo Diesel Puro)

Usando a mesma metodologia de teste, obtiveram-se as seguintes medidas para o B5:

- **Potência de Eixo**

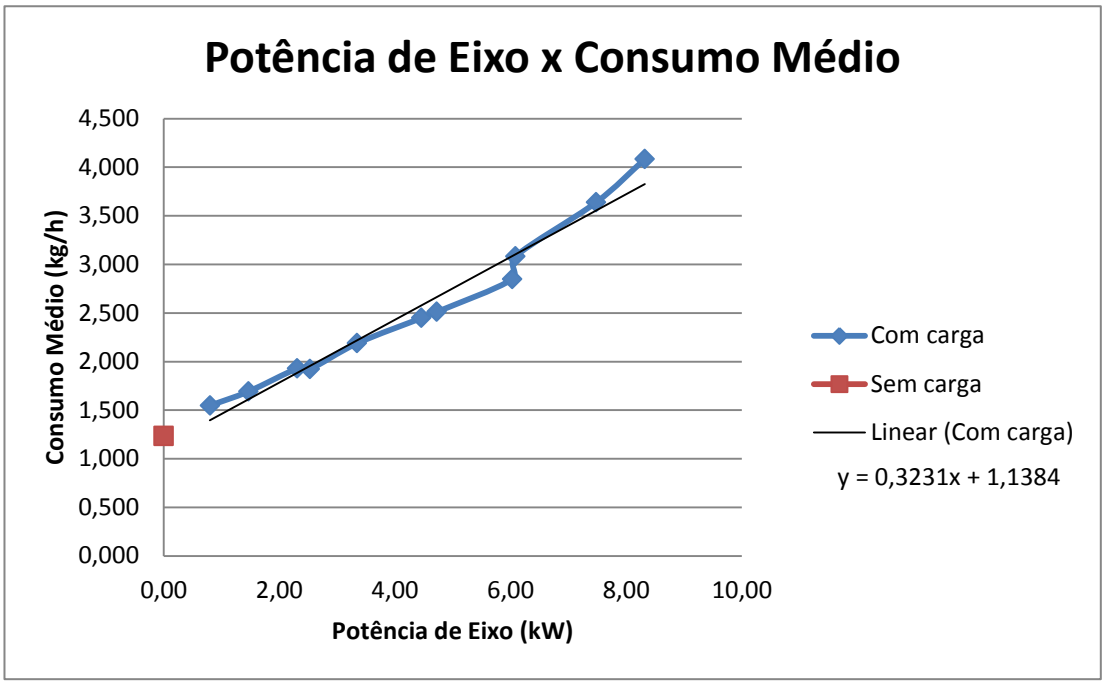


Figura 49 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B5.

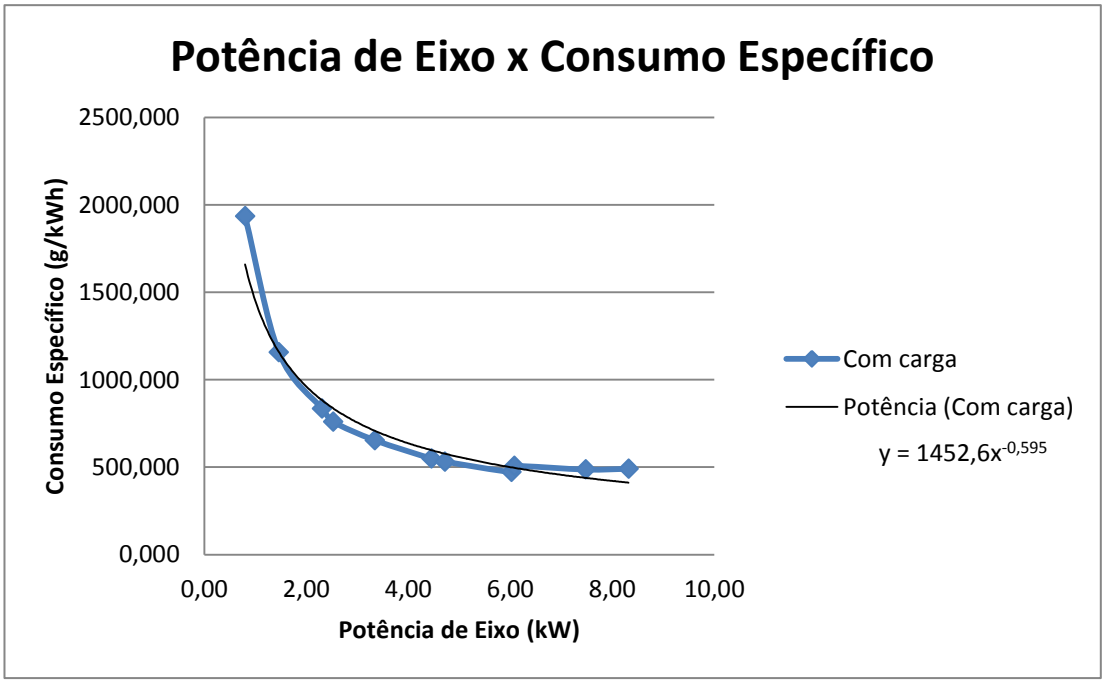


Figura 50 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B5.

- **Potência de Atrito**

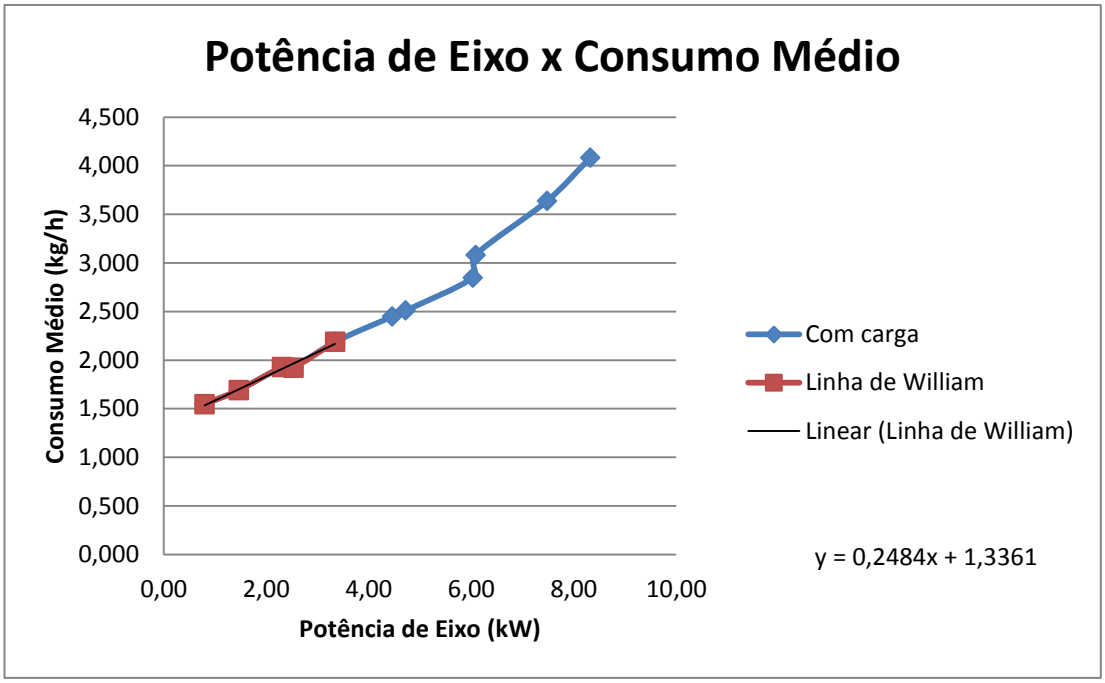


Figura 51 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B5.

$$fhp = 5{,}3788\ kW$$

- **Emissões**

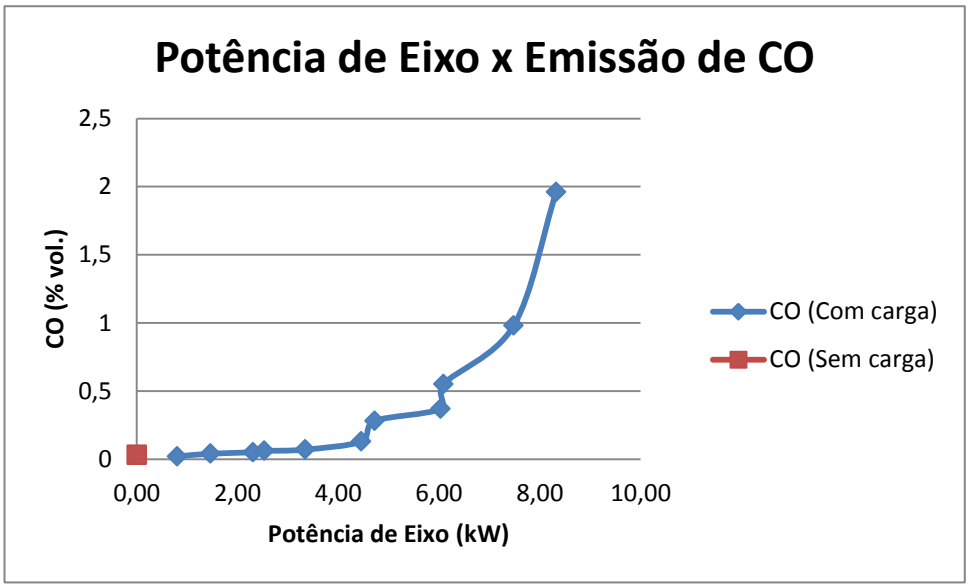


Figura 52- Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B5.

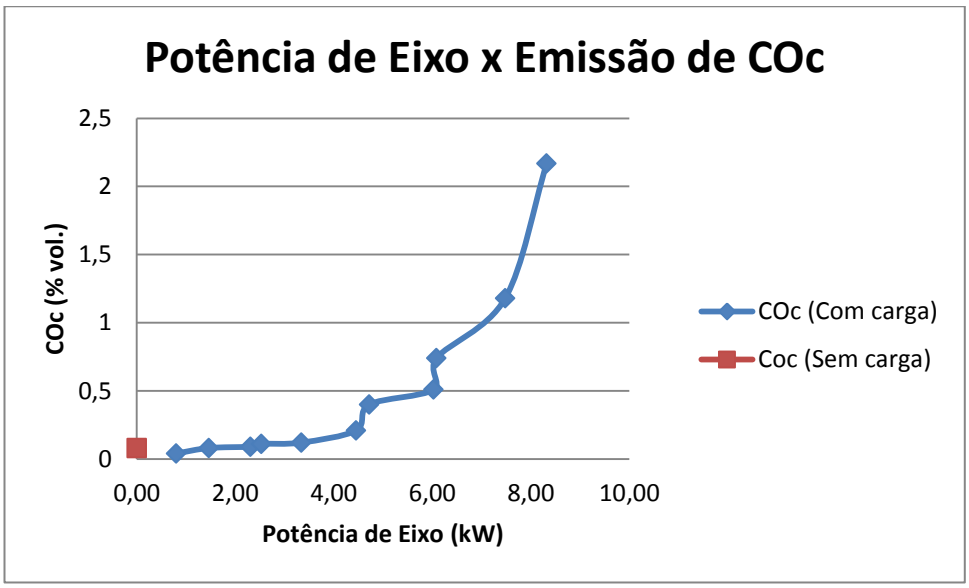


Figura 53 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B5.

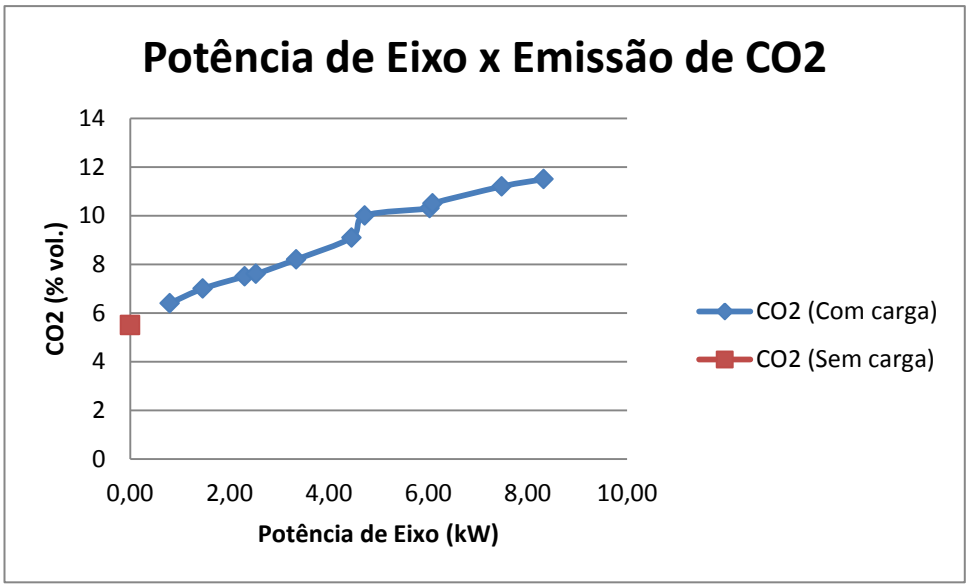


Figura 54 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B5.

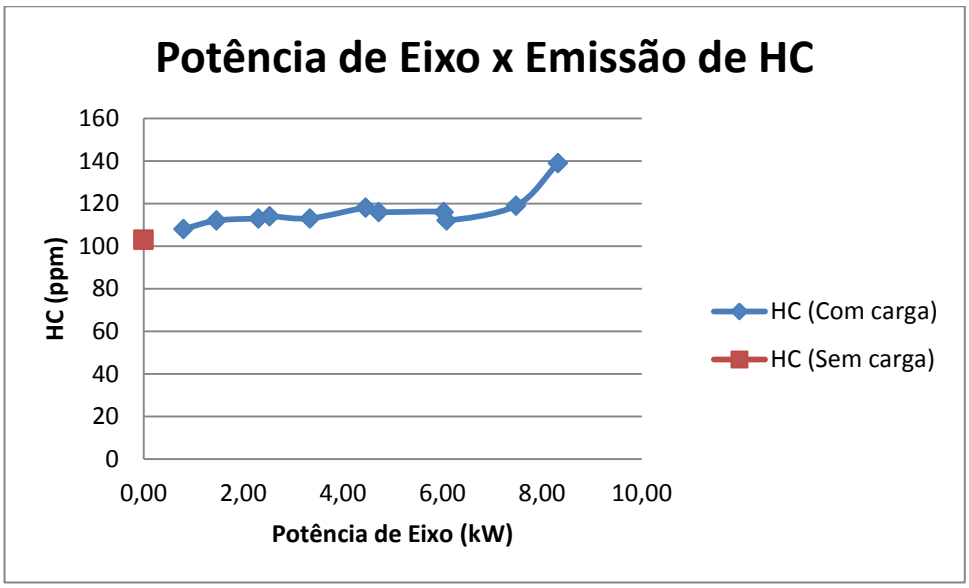


Figura 55 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B5.

8.3.4 B10 (Mistura de 10% de Biodiesel em Óleo Diesel Puro)

Usando a mesma metodologia de teste, obtiveram-se as seguintes medidas:

- **Potência de Eixo**

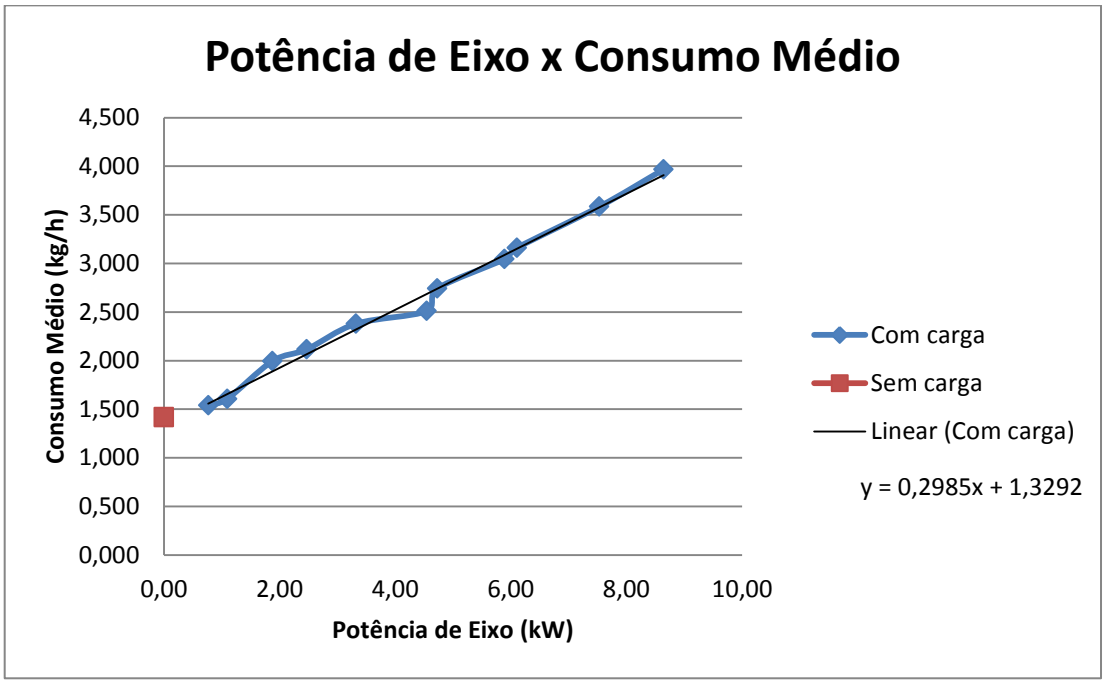


Figura 56 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B10.

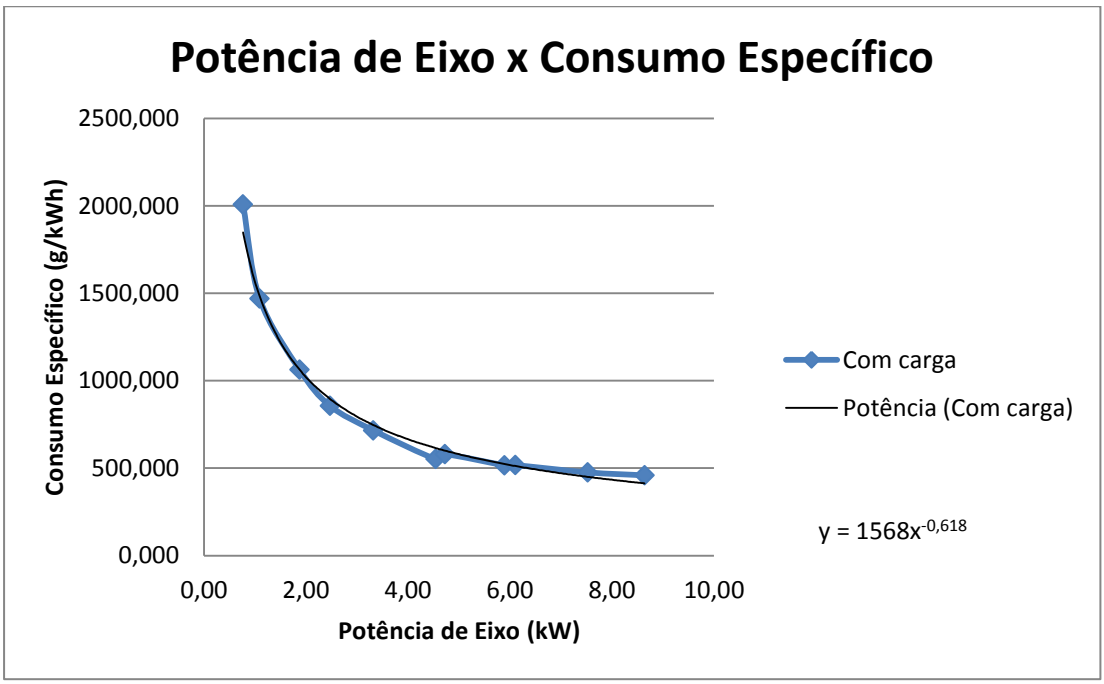


Figura 57 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B10.

- **<u>Potência de Atrito</u>**

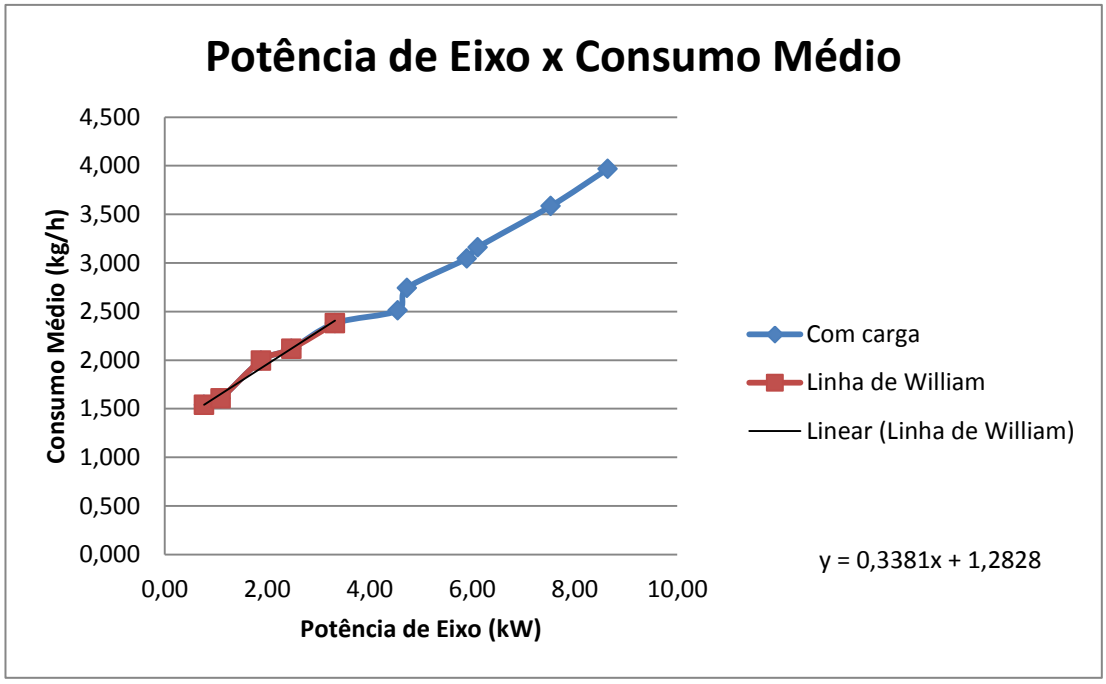


Figura 58 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B10.

$$fhp = 3{,}7941\ kW$$

- **Emissões**

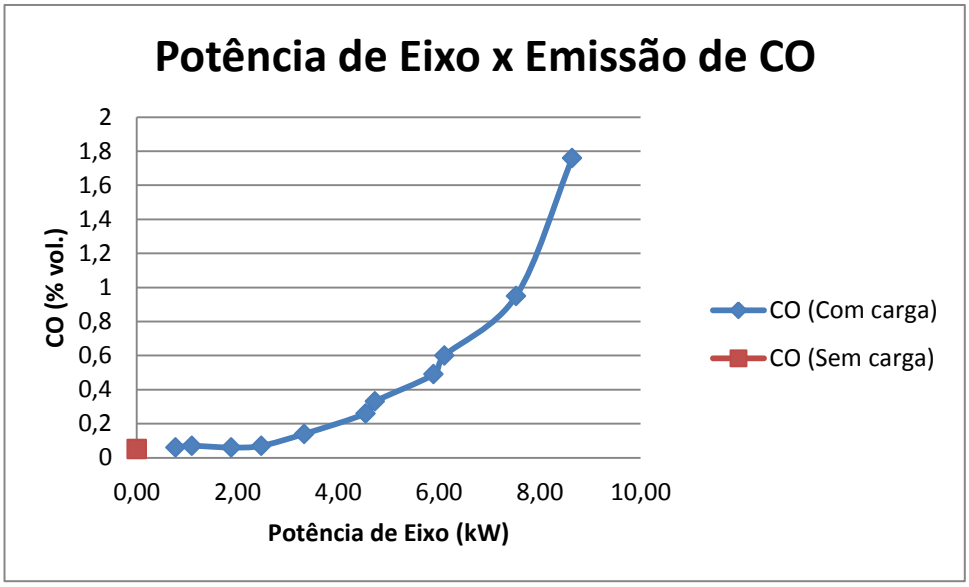


Figura 59 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B10.

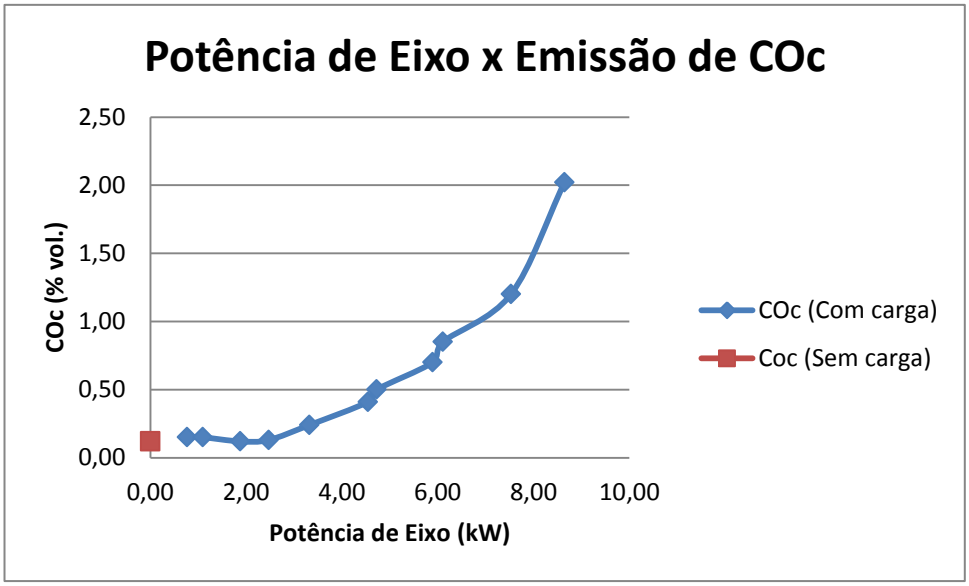


Figura 60 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B10.

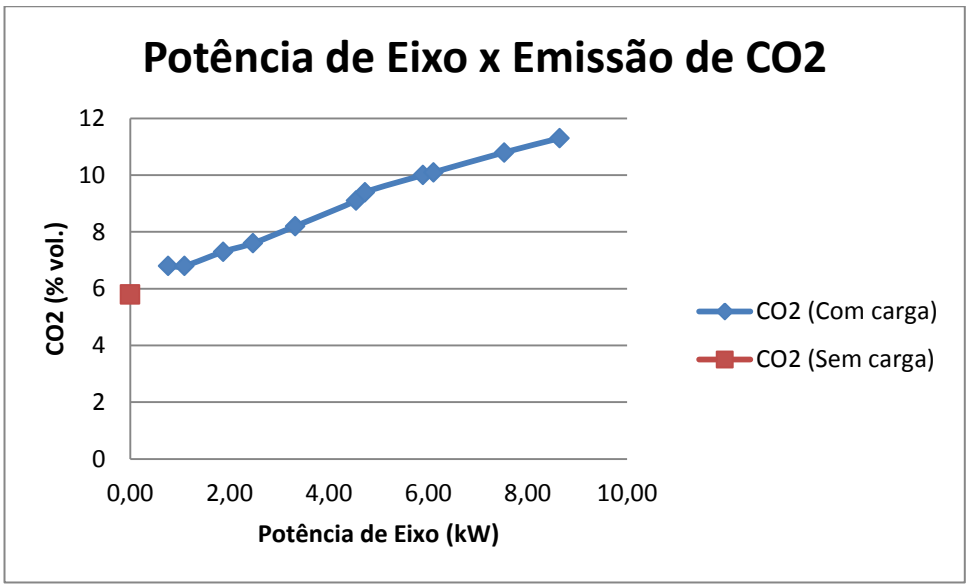


Figura 61 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B10.

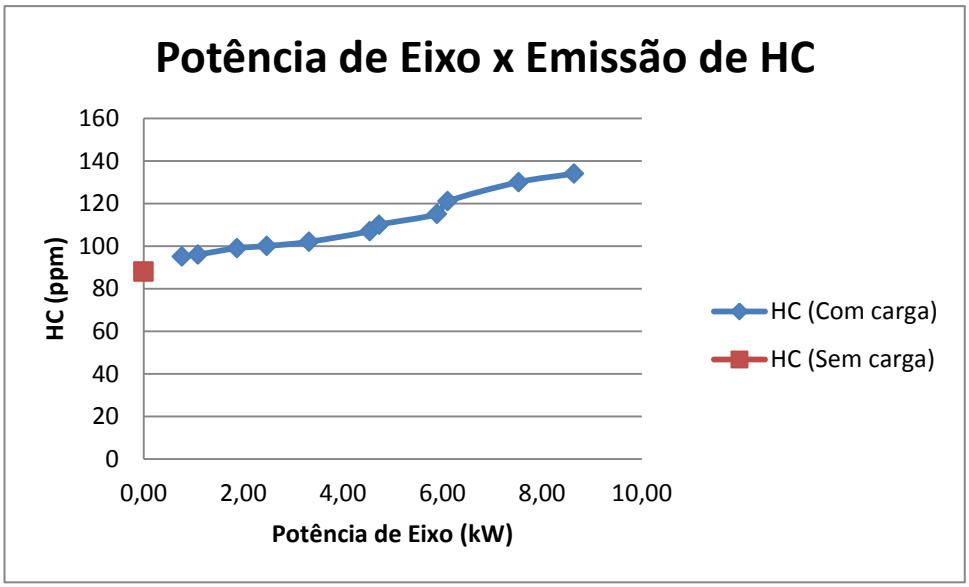


Figura 62 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B10.

8.3.5 B15 (Mistura de 15% de Biodiesel em Óleo Diesel Puro)

Usando a mesma metodologia de teste, obtiveram-se as seguintes medidas:

- **Potência de Eixo**

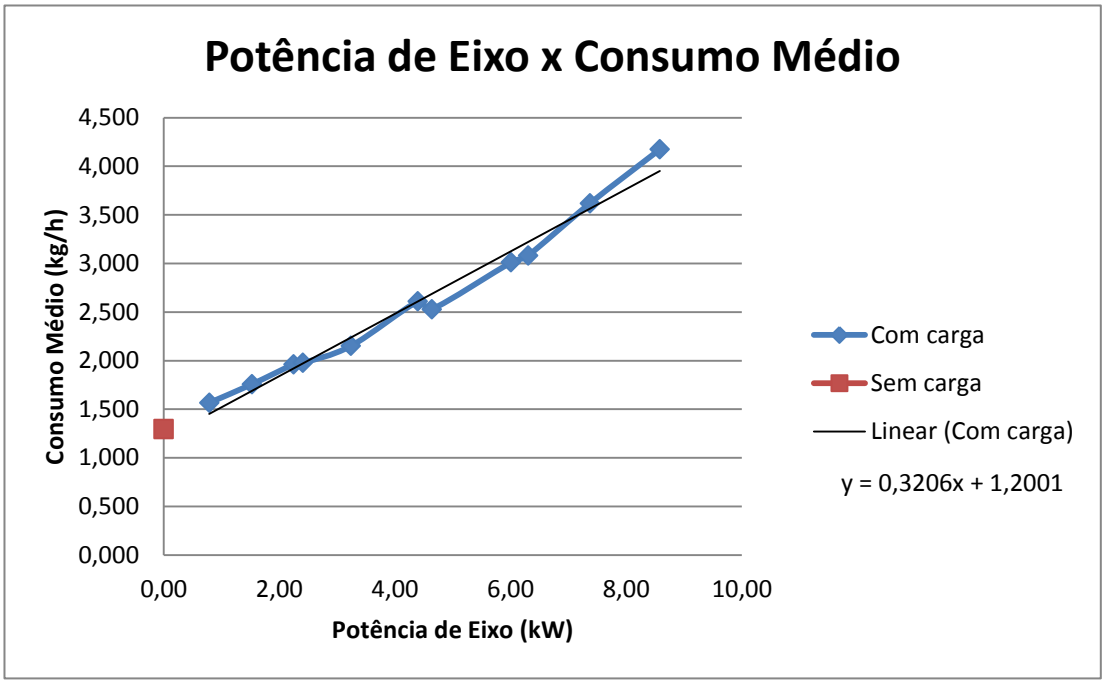


Figura 63 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B15.

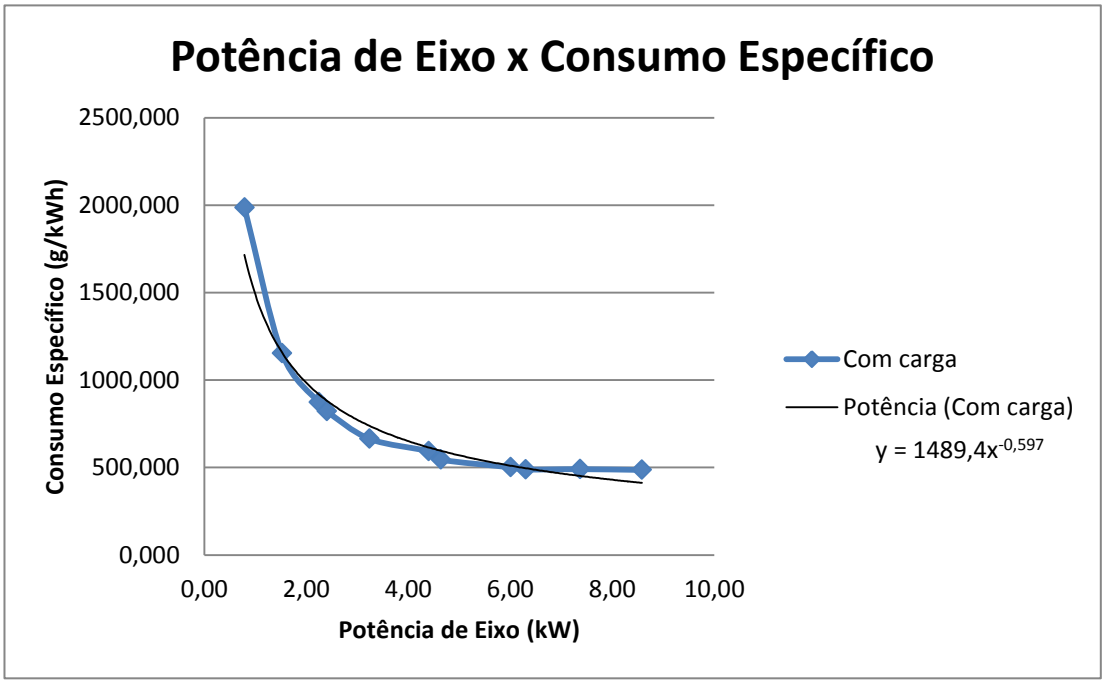


Figura 64 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B15.

- **Potência de Atrito**

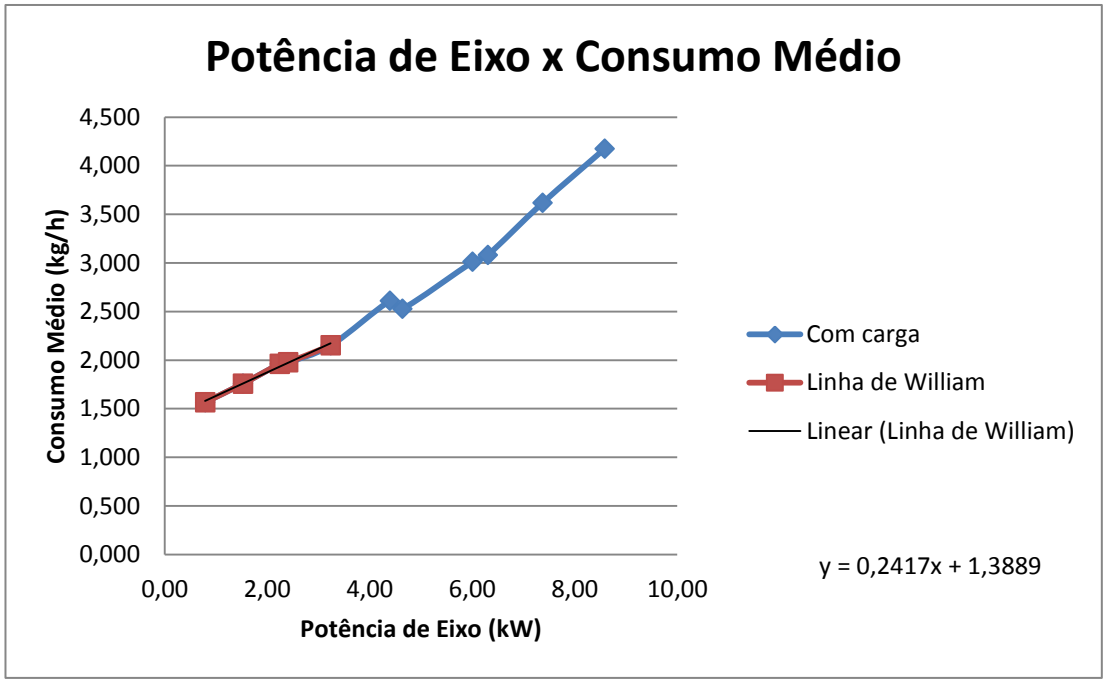


Figura 65 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B15.

$$fhp = 5{,}7463\ kW$$

- **Emissões**

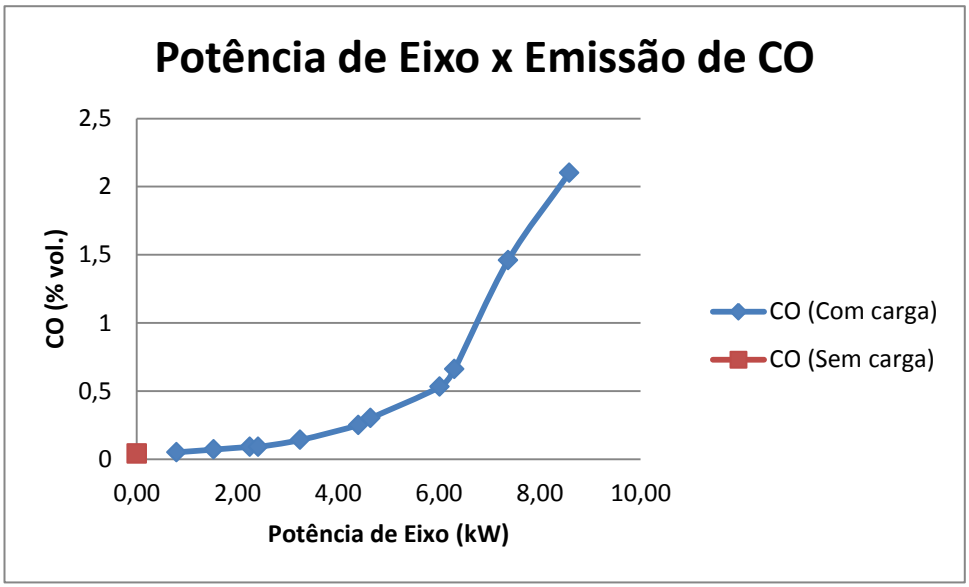


Figura 66 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B15.

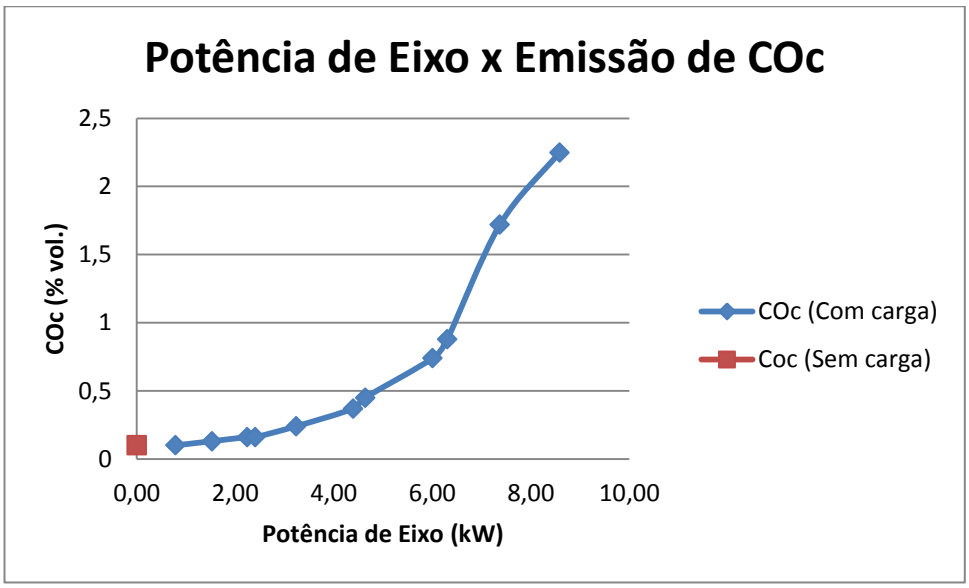


Figura 67 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B15.

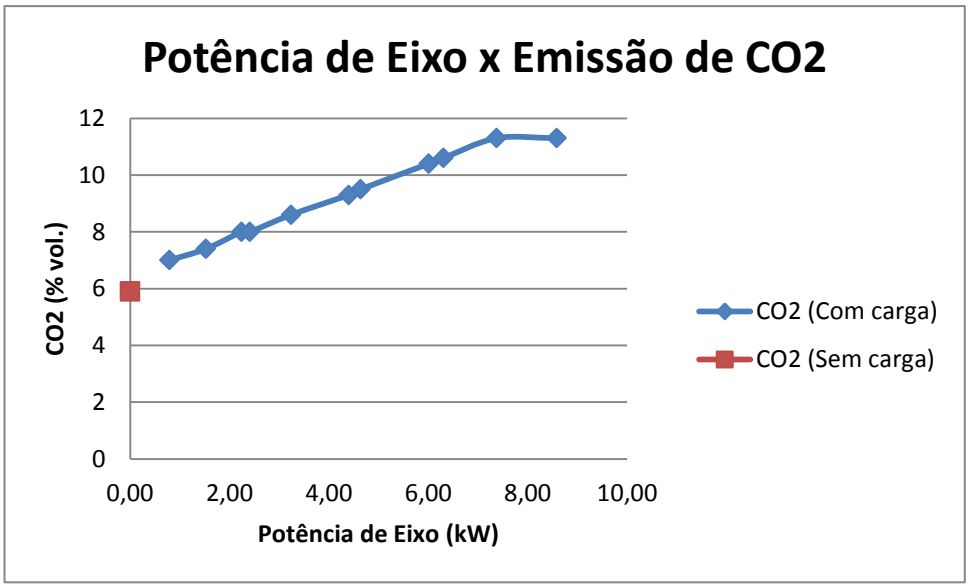


Figura 68 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B15.

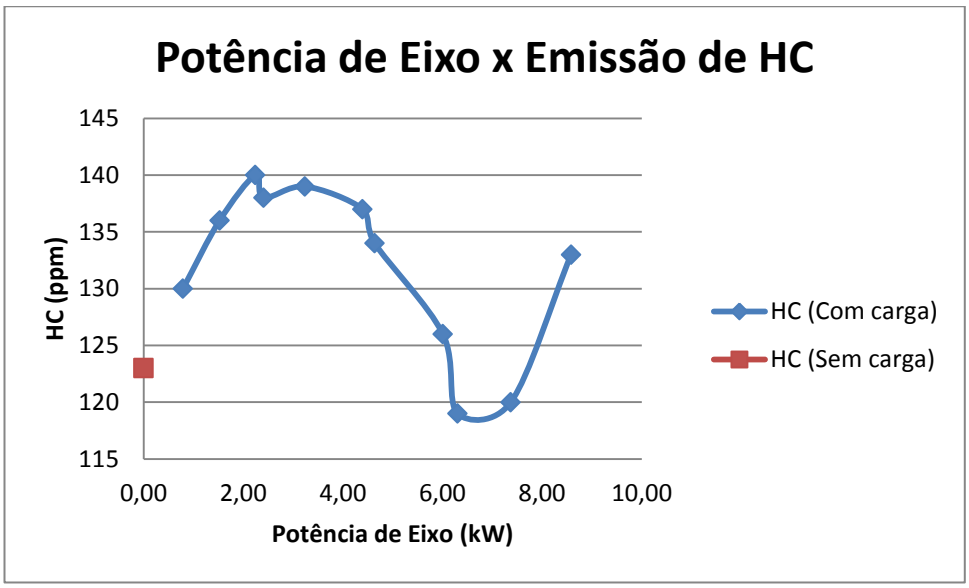


Figura 69 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B15.

8.3.6 B20 (Mistura de 20% de Biodiesel em Óleo Diesel Puro)

Usando a mesma metodologia de teste, obtiveram-se as seguintes medidas:

- **<u>Potência de Eixo</u>**

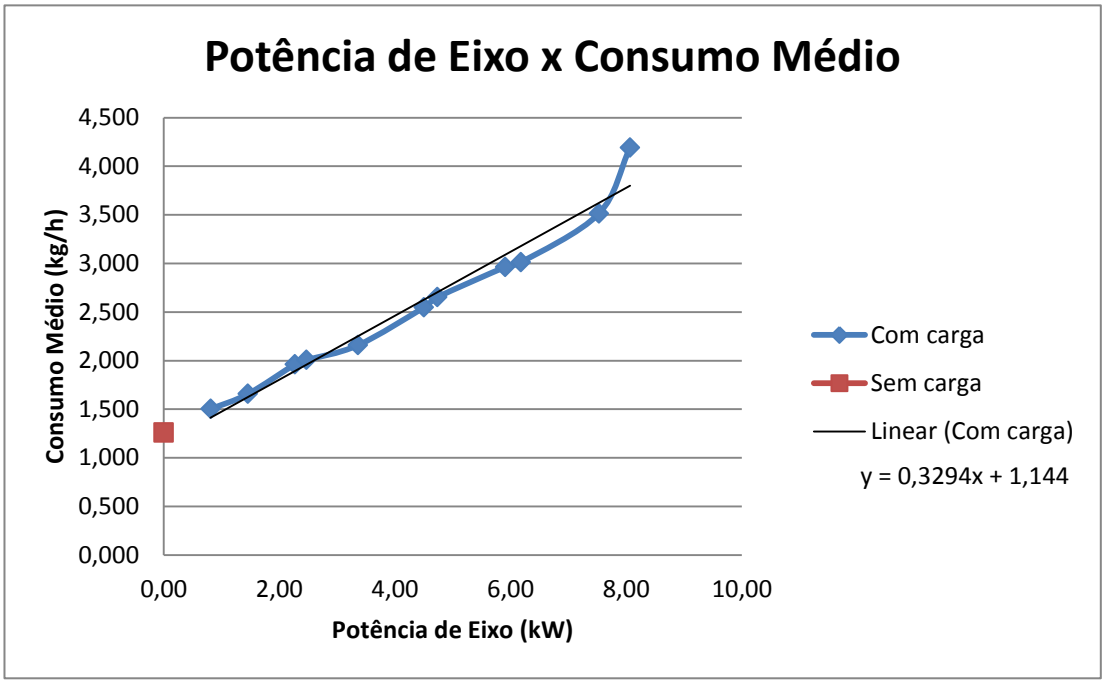


Figura 70 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B20.

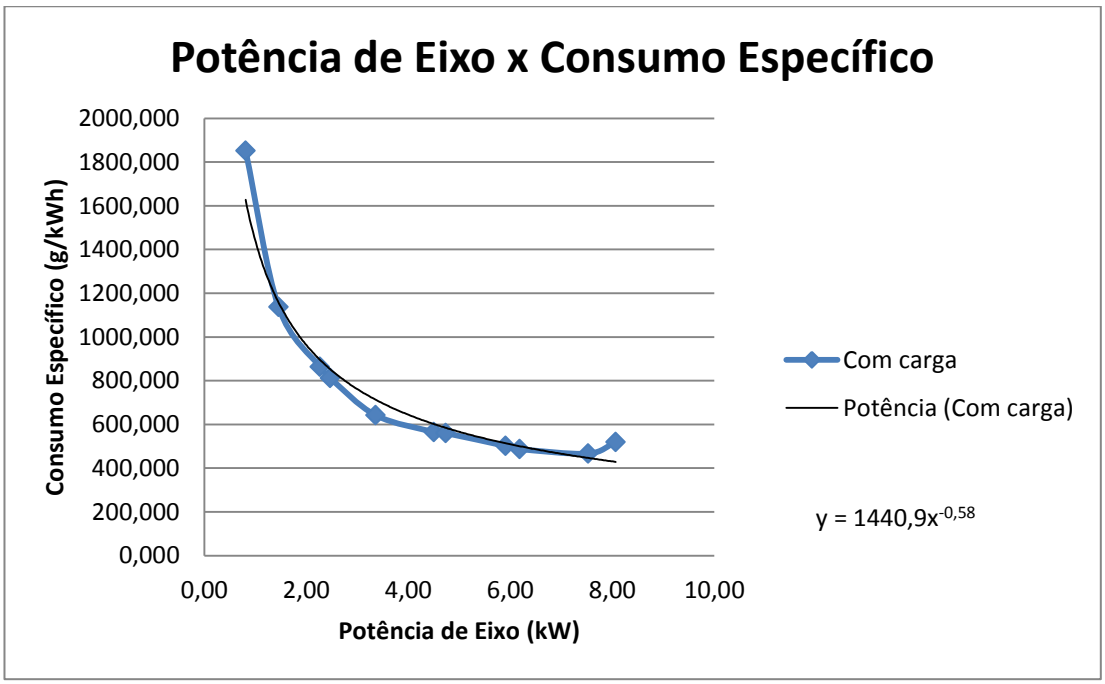


Figura 71 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B20.

- **<u>Potência de Atrito</u>**

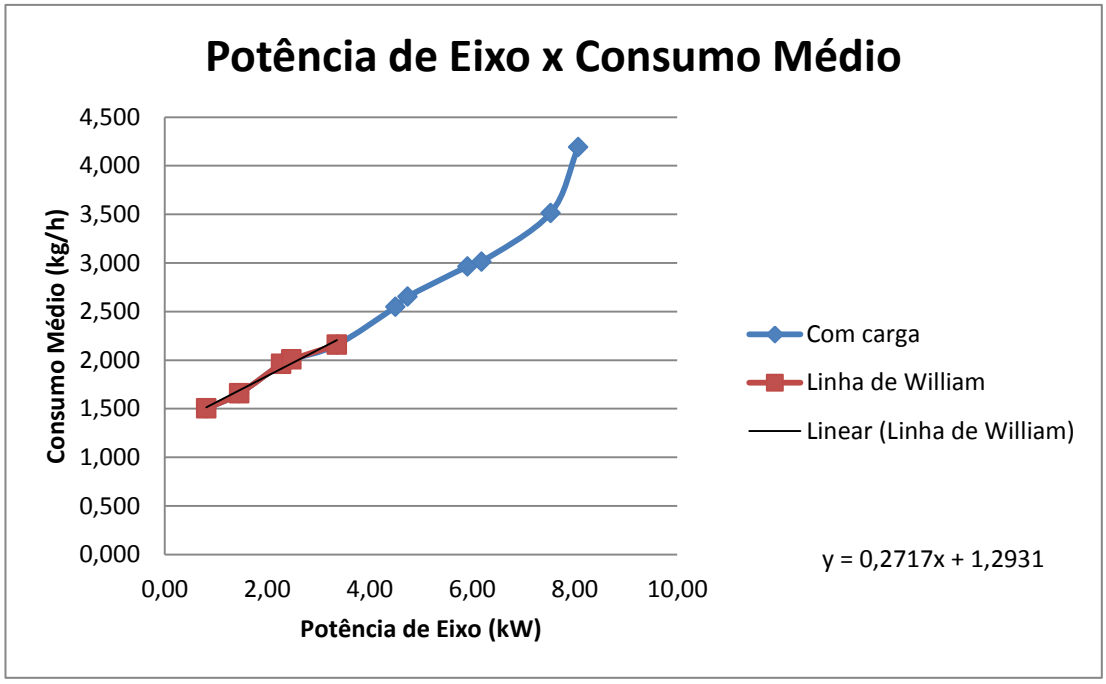


Figura 72 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B20.

$$fhp = 4{,}7592\ kW$$

- **Emissões**

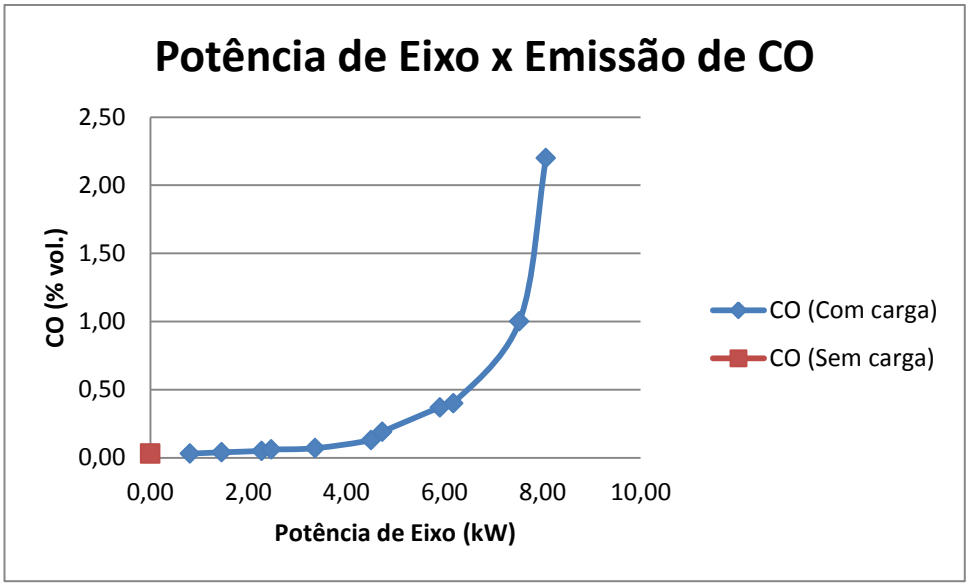


Figura 73 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B20.

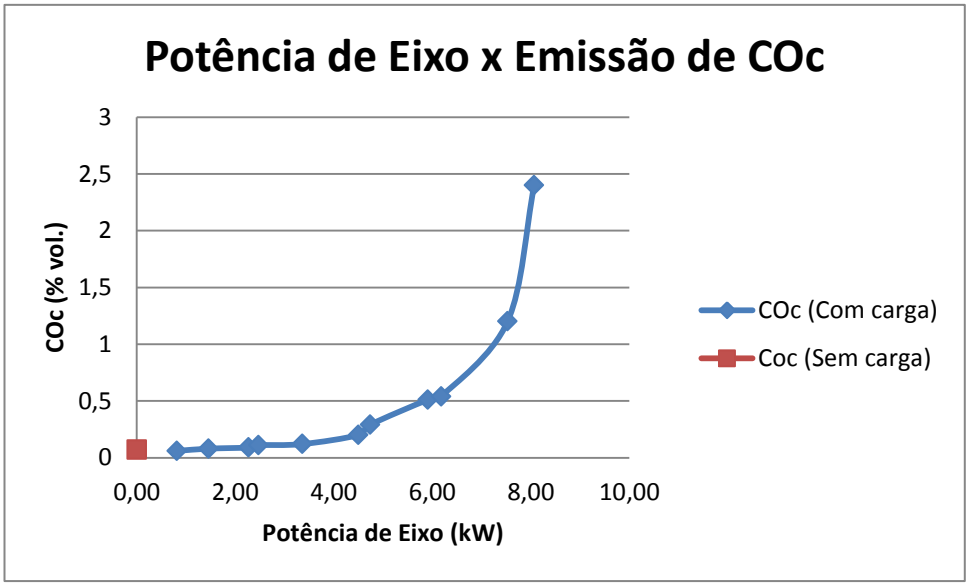


Figura 74 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B20.

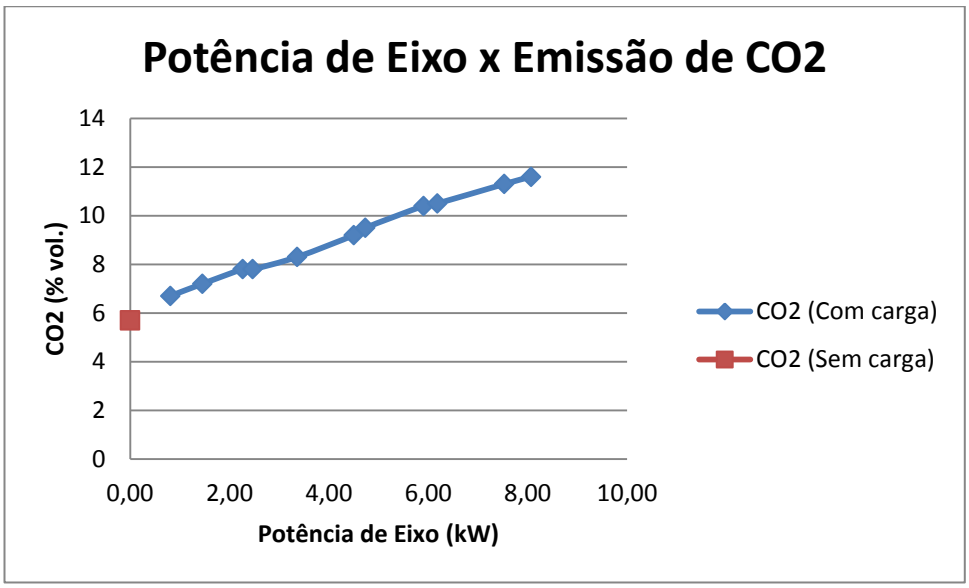


Figura 75 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B20.

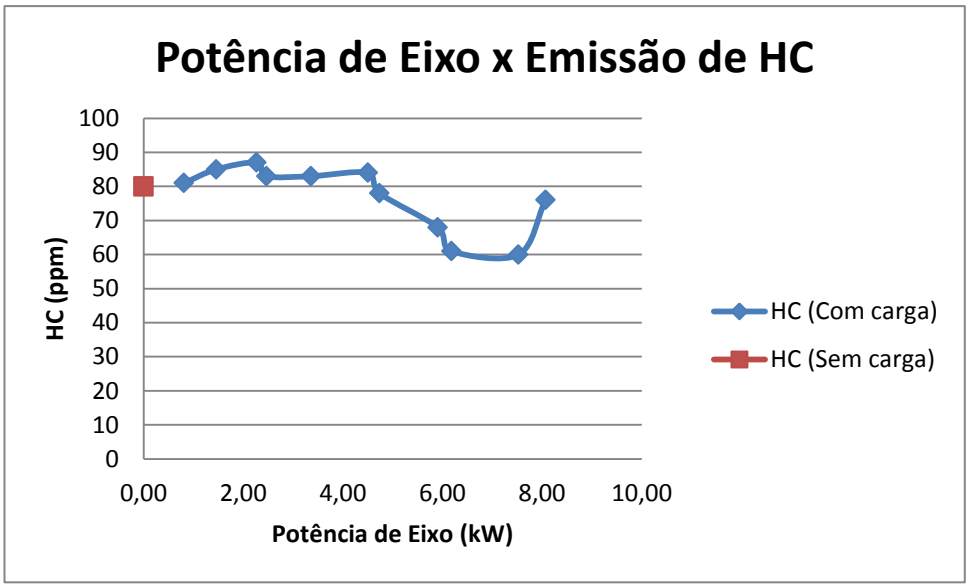


Figura 76 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B20.

8.3.7 B25 (Mistura de 25% de Biodiesel em Óleo Diesel Puro)

Usando a mesma metodologia de teste, obtiveram-se as seguintes medidas:

- **Potência de Eixo**

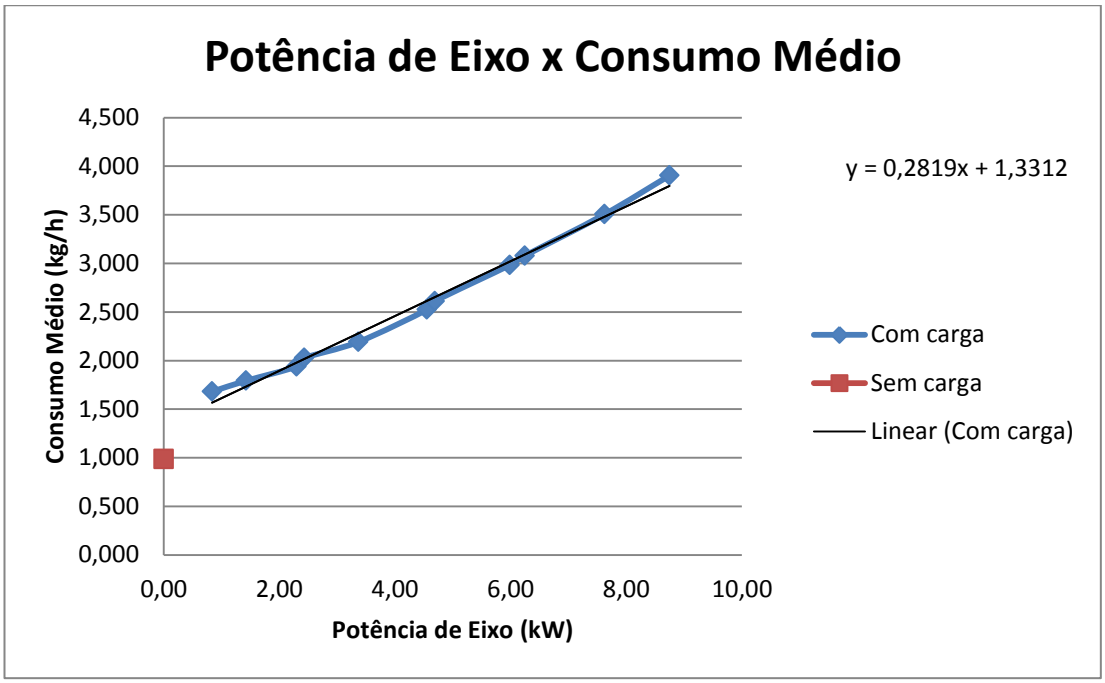


Figura 77 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B25.

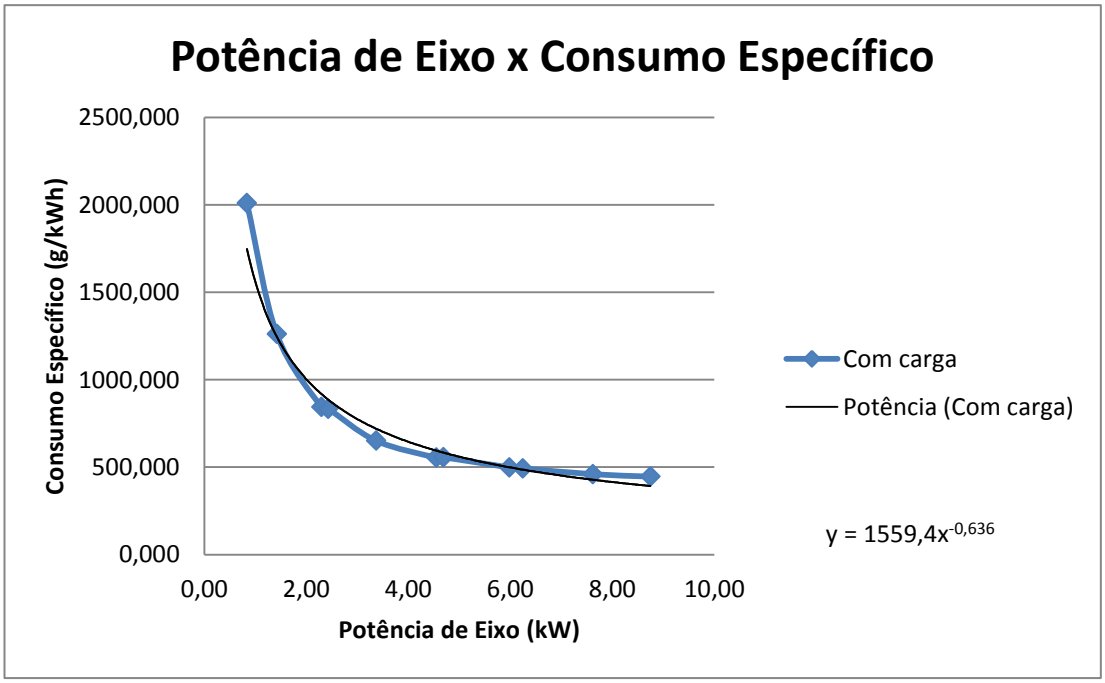


Figura 78 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B25.

- **Potência de Atrito**

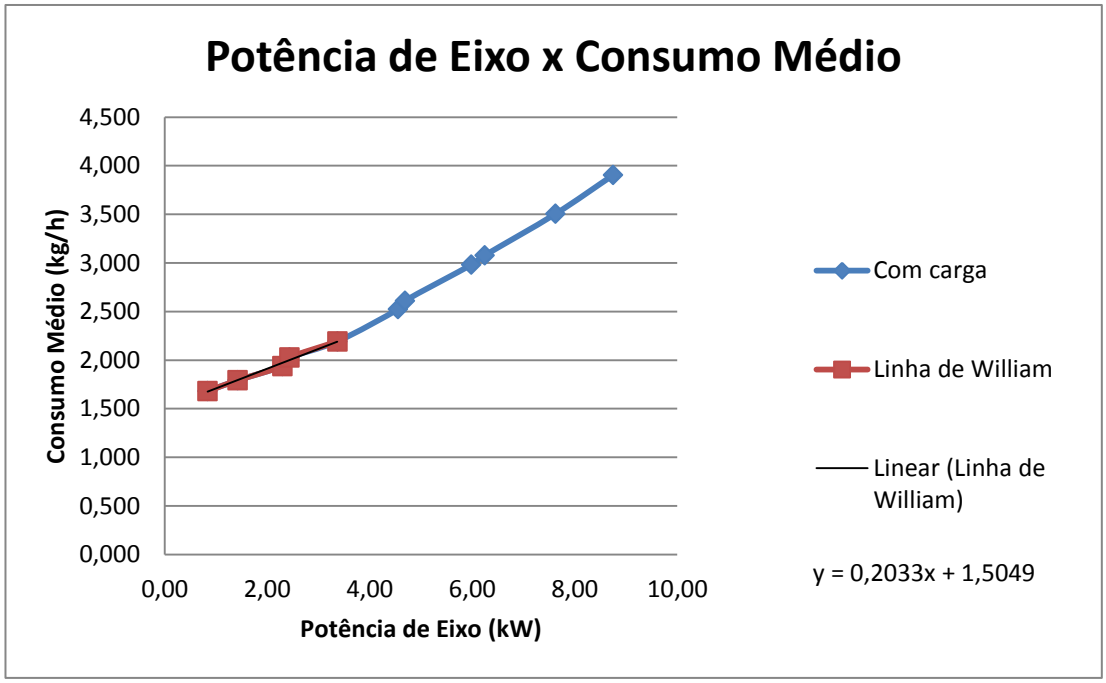


Figura 79 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B25.

$$fhp = 7{,}402\ kW$$

- **Emissões**

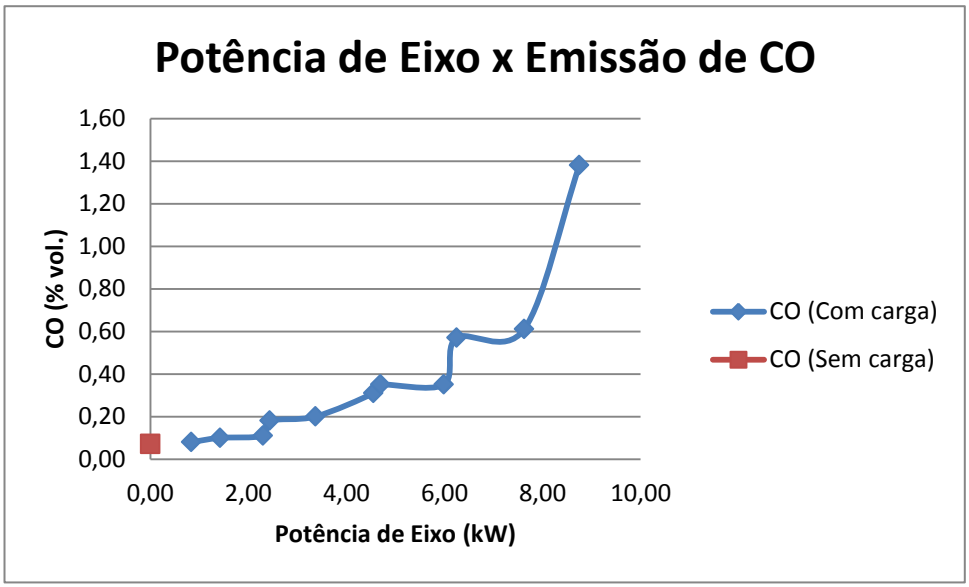


Figura 80 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B25.

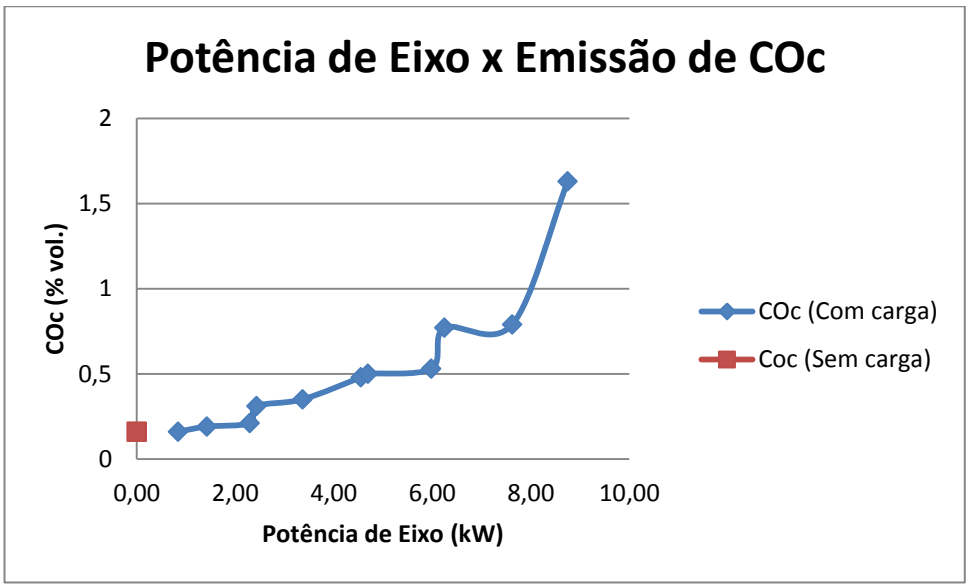


Figura 81 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B25.

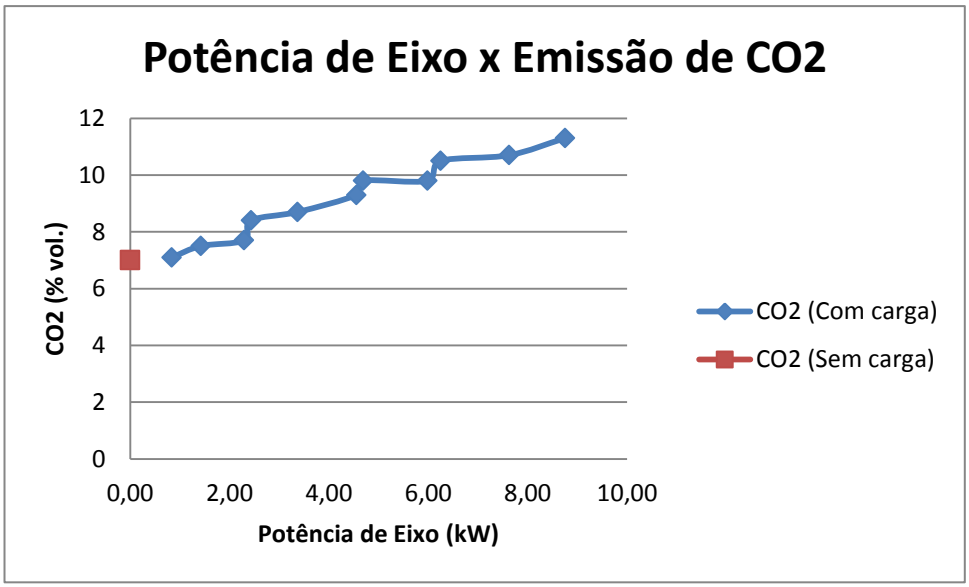


Figura 82 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B25.

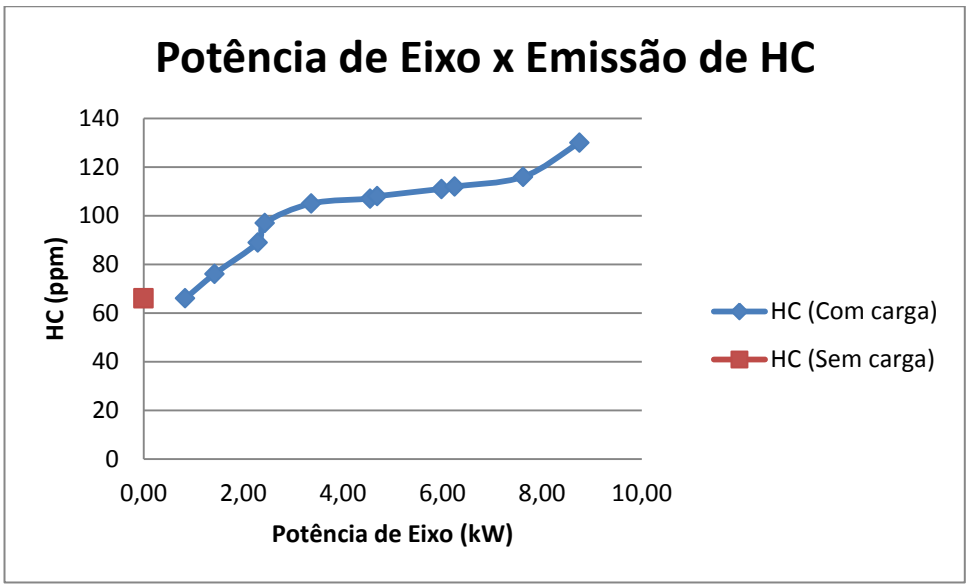


Figura 83 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B25.

8.3.8 B50 (Mistura de 50% de Biodiesel em Óleo Diesel Puro)

Usando a mesma metodologia de teste, obtiveram-se as seguintes medidas:

- **Potência de Eixo**

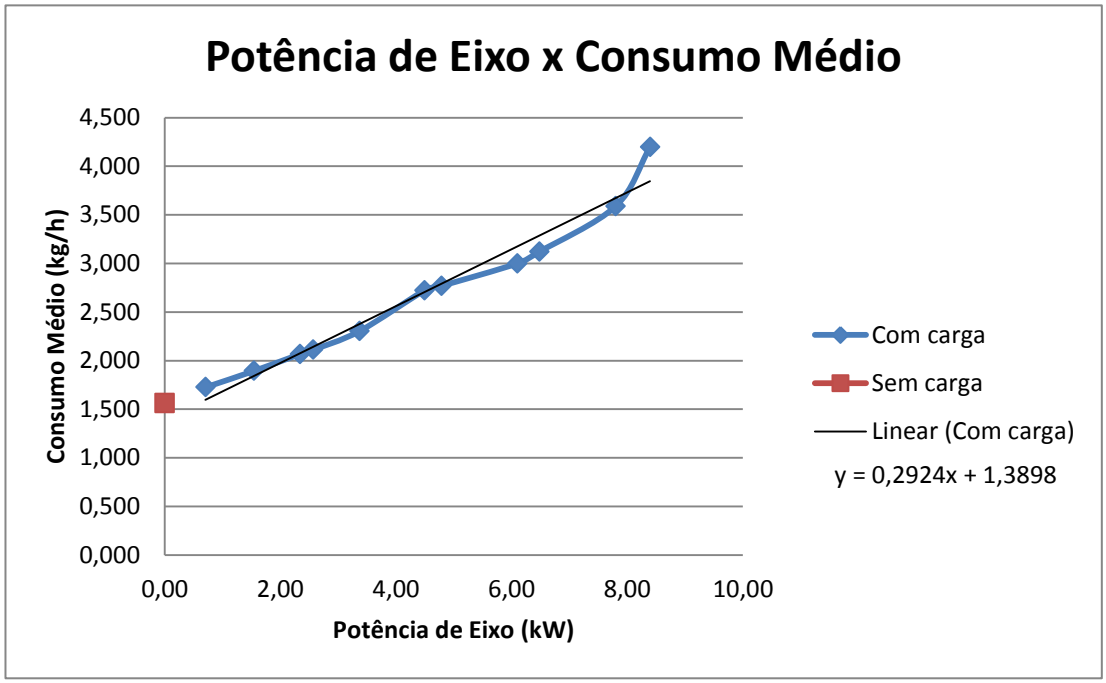


Figura 84 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B50.

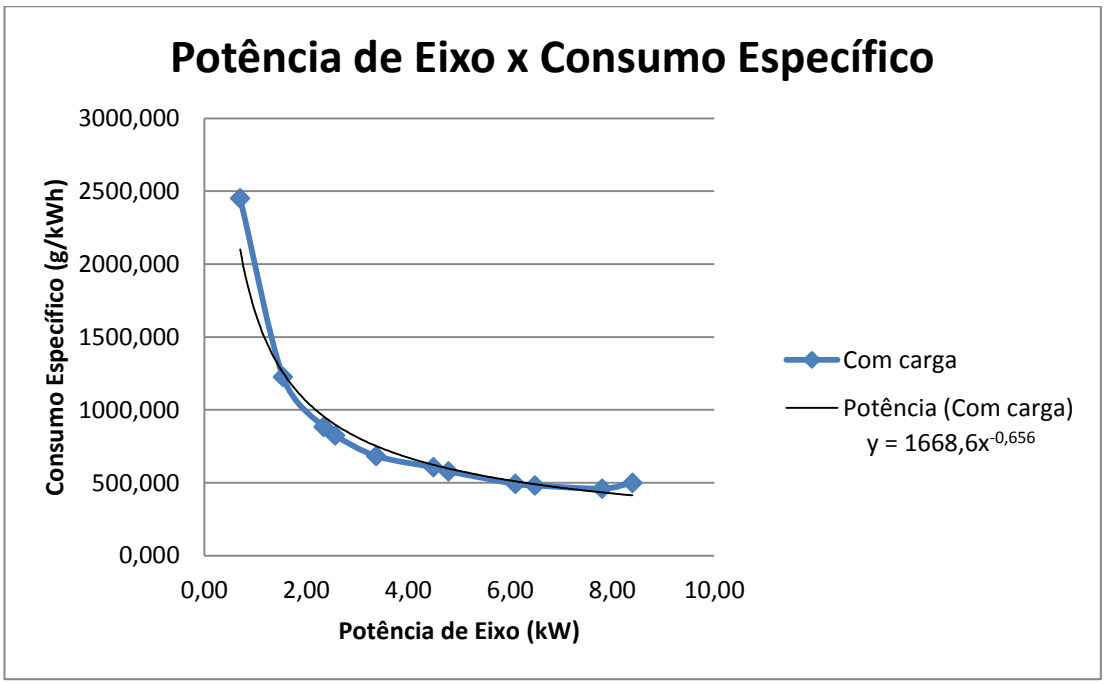


Figura 85 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B50.

- **<u>Potência de Atrito</u>**

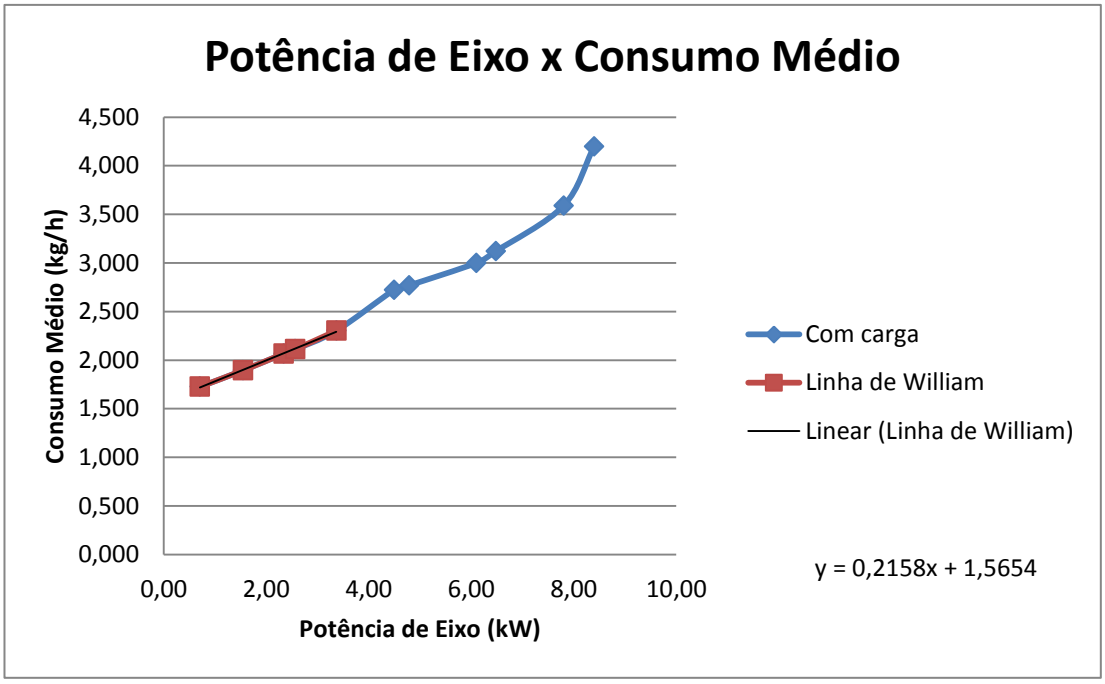


Figura 86 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B50.

$$fhp = 7{,}253\ kW$$

- **Emissões**

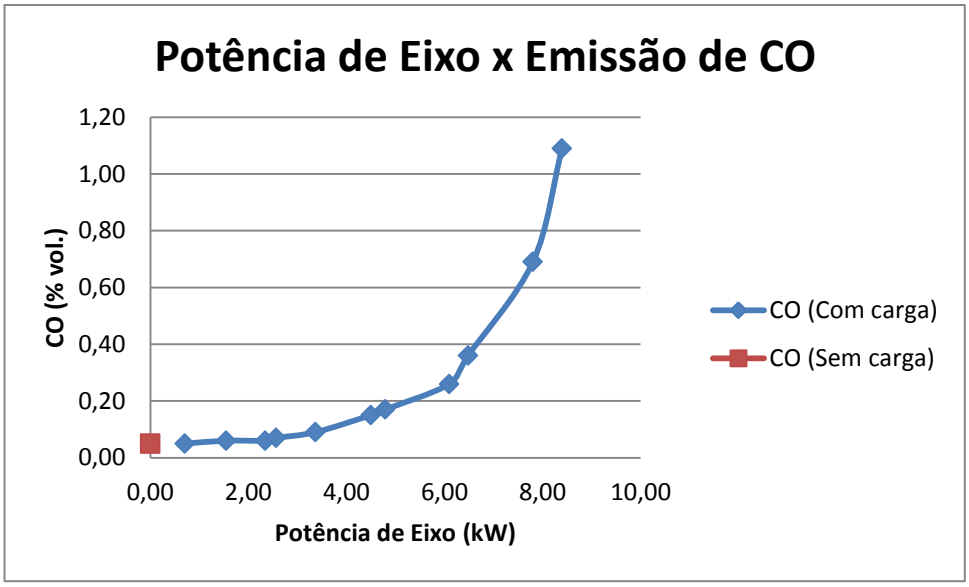


Figura 87 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B50.

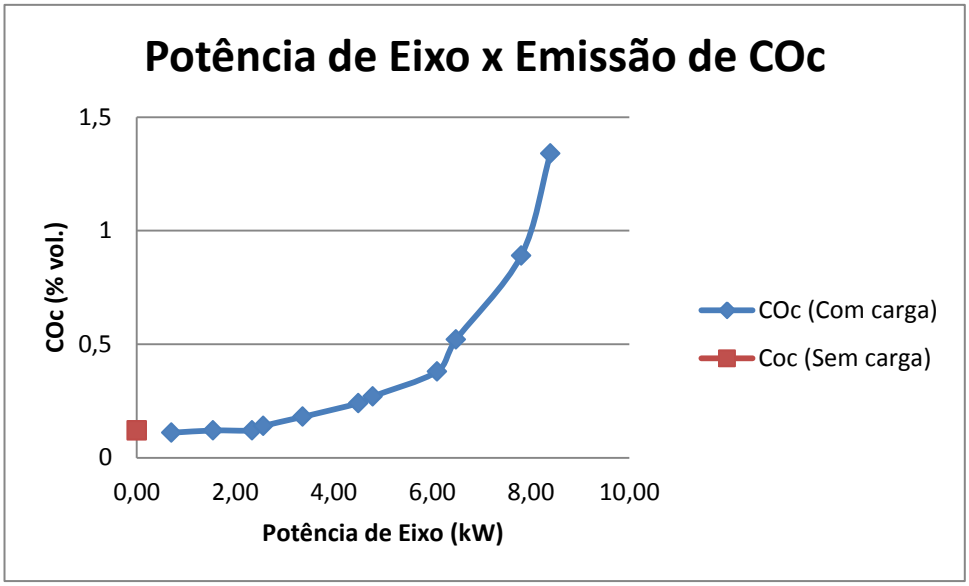


Figura 88 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B50.

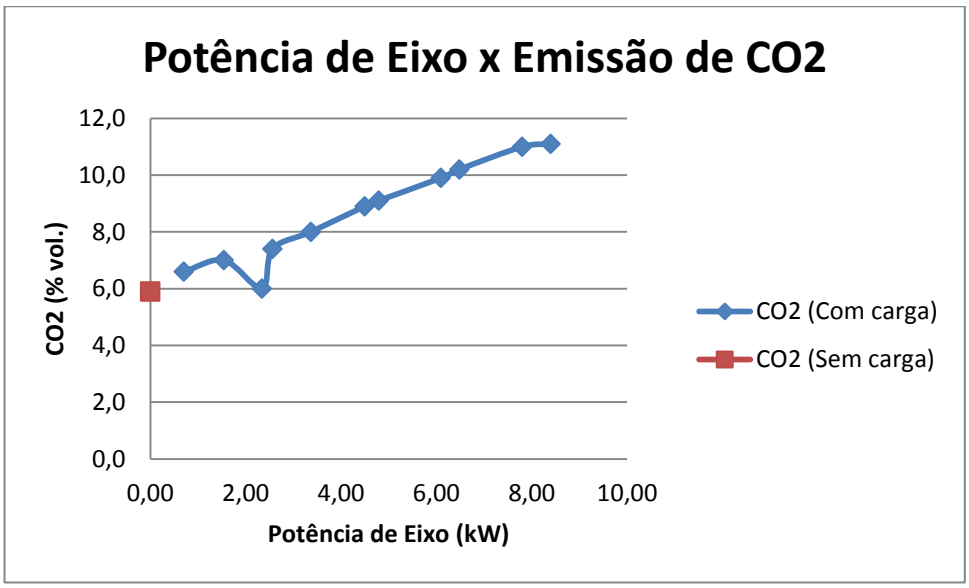


Figura 89 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B50.

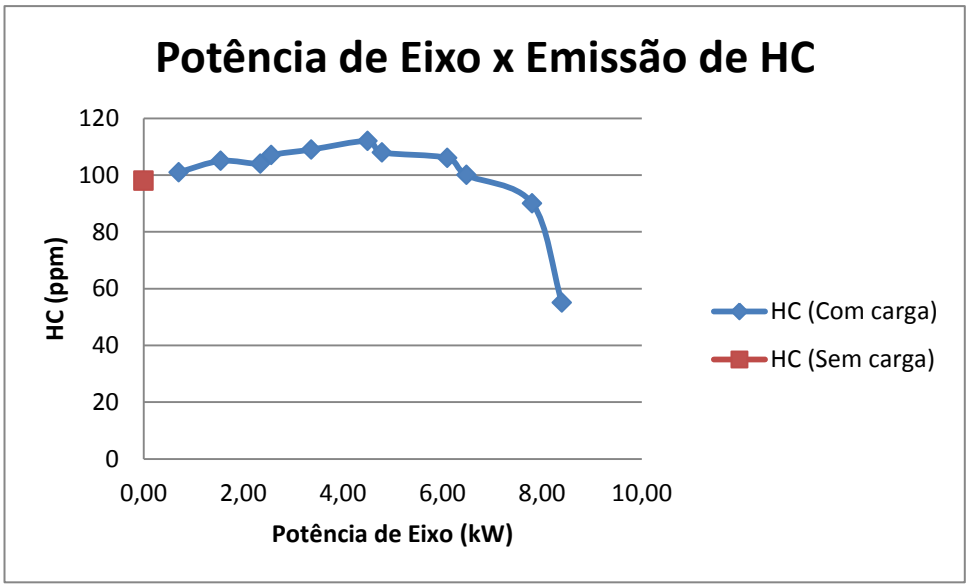


Figura 90 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B50.

8.3.9 B75 (Mistura de 75% de Biodiesel em Óleo Diesel Puro)

Usando a mesma metodologia de teste, obtiveram-se as seguintes medidas:

- **Potência de Eixo**

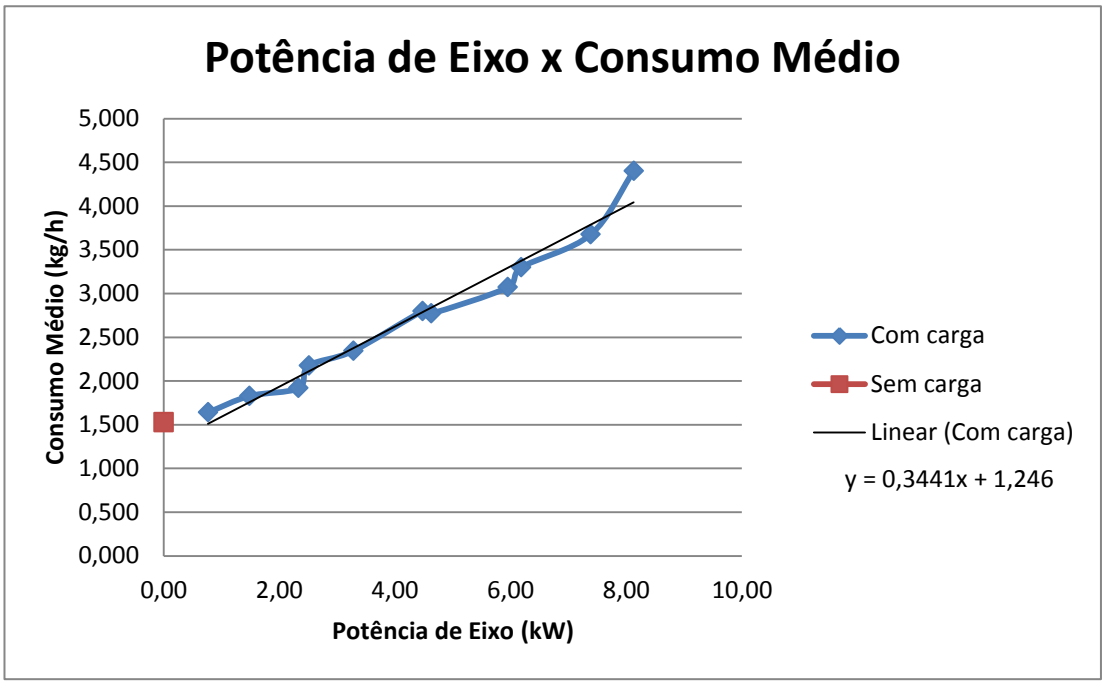


Figura 91 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B75.

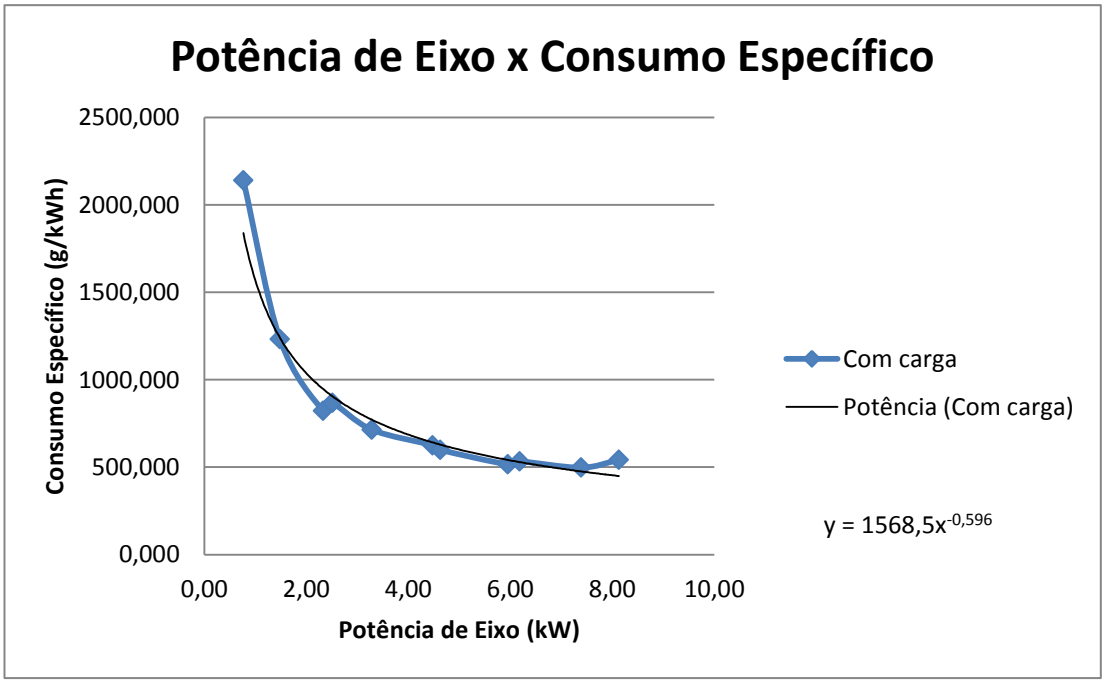


Figura 92 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B75.

- **Potência de Atrito**

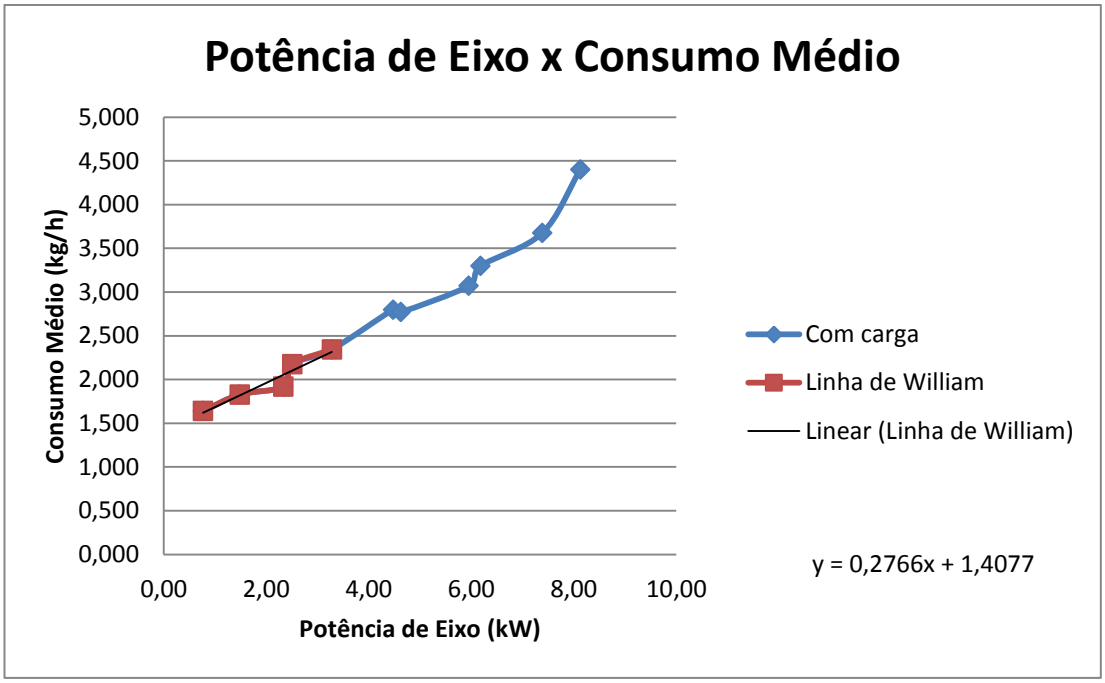


Figura 93 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B75.

$$fhp = 5{,}089\ kW$$

- **Emissões**

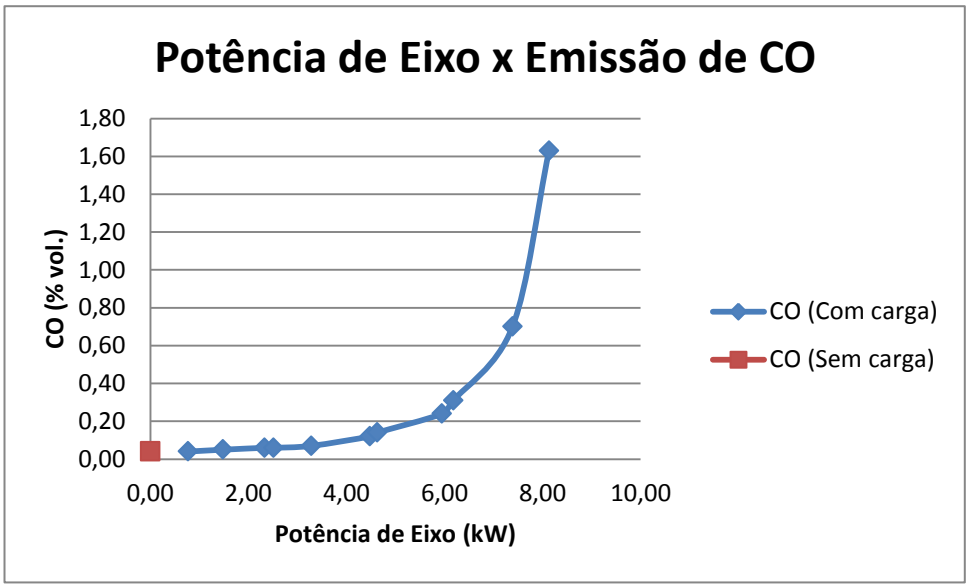


Figura 94 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B75.

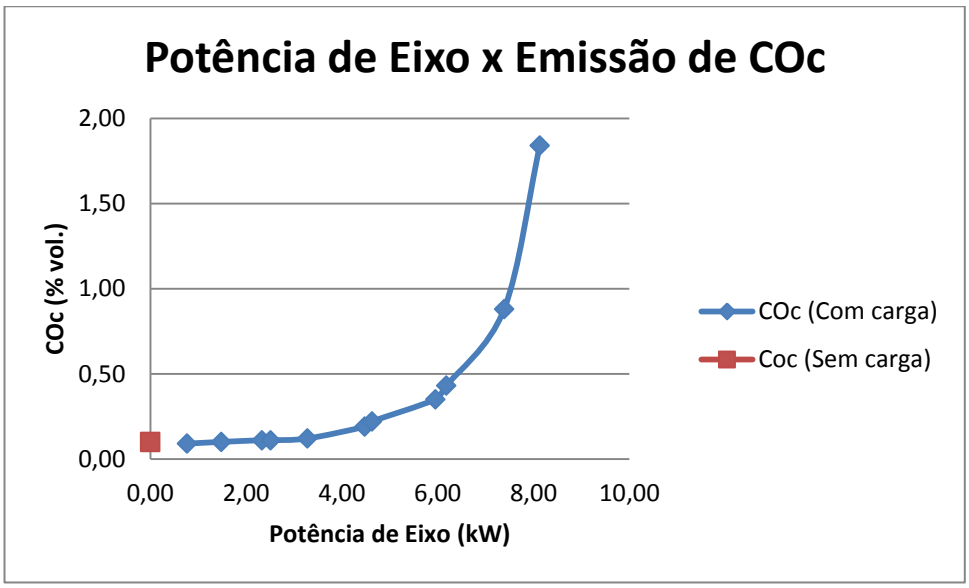


Figura 95 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B75.

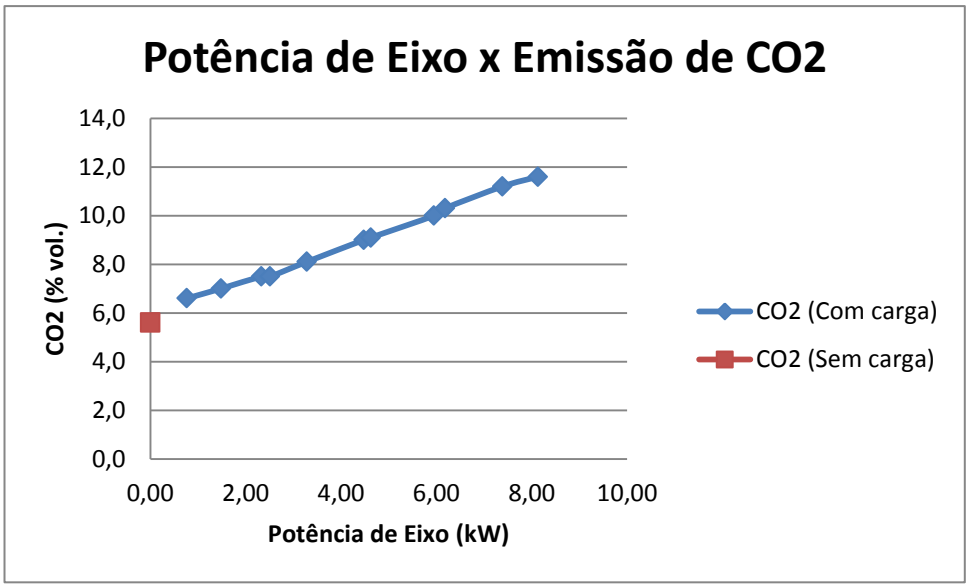


Figura 96 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B75.

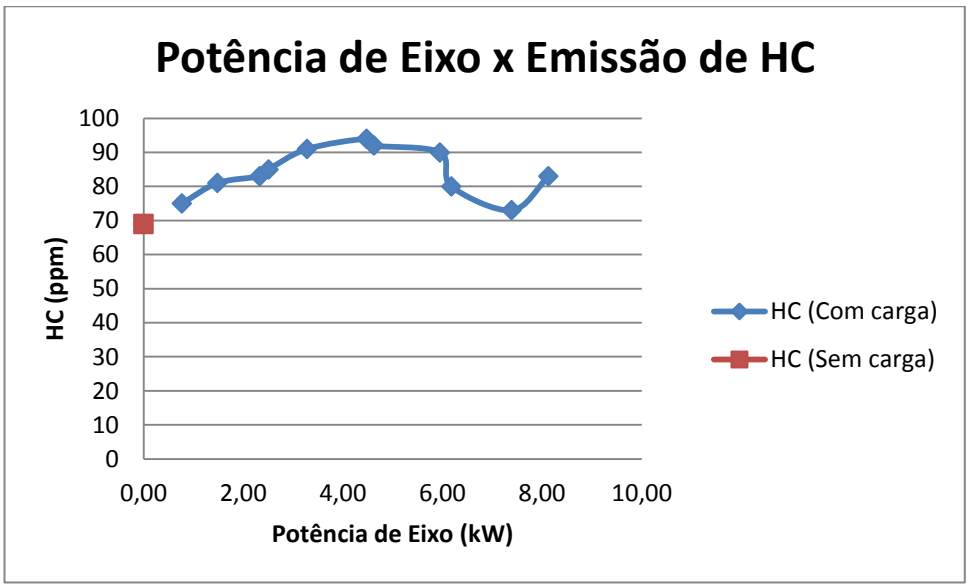


Figura 97 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B75.

8.3.10 B100 (Biodiesel Puro)

Usando a mesma metodologia de teste, obtiveram-se as seguintes medidas:

- **<u>Potência de Eixo</u>**

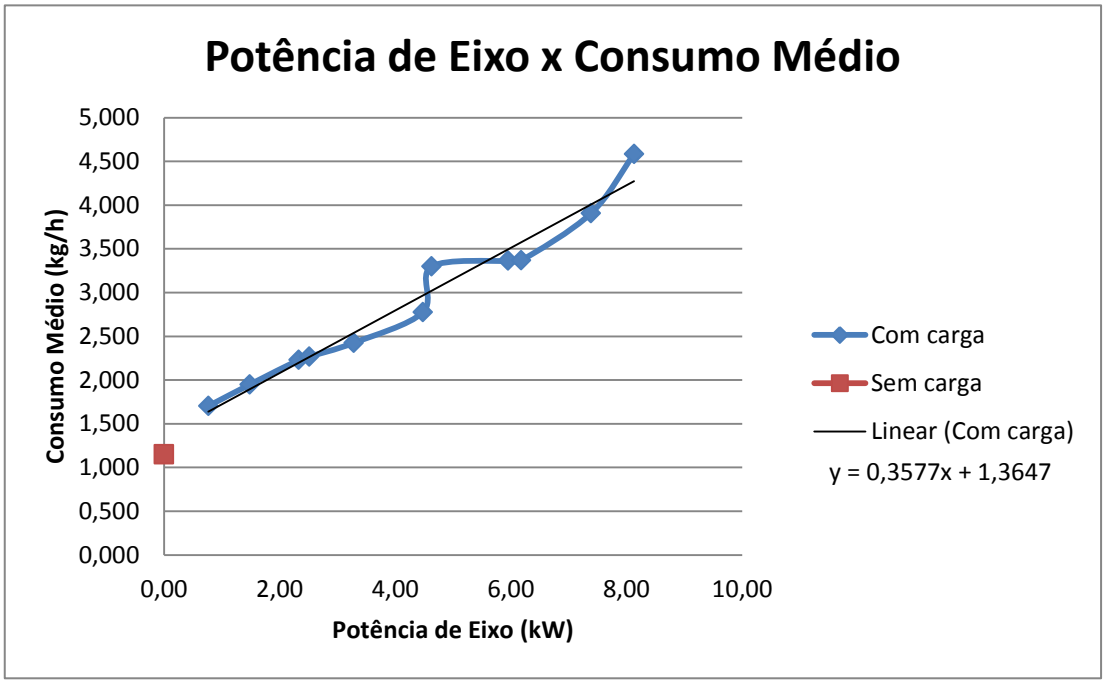


Figura 98 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, B100.

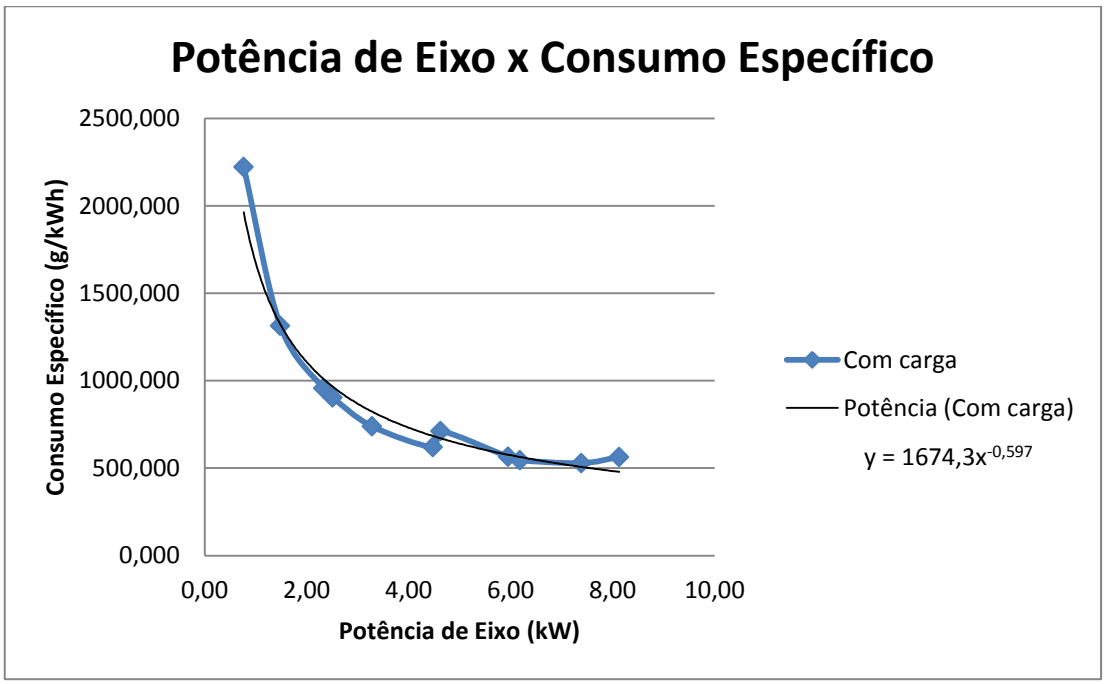


Figura 99 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, B100.

- **<u>Potência de Atrito</u>**

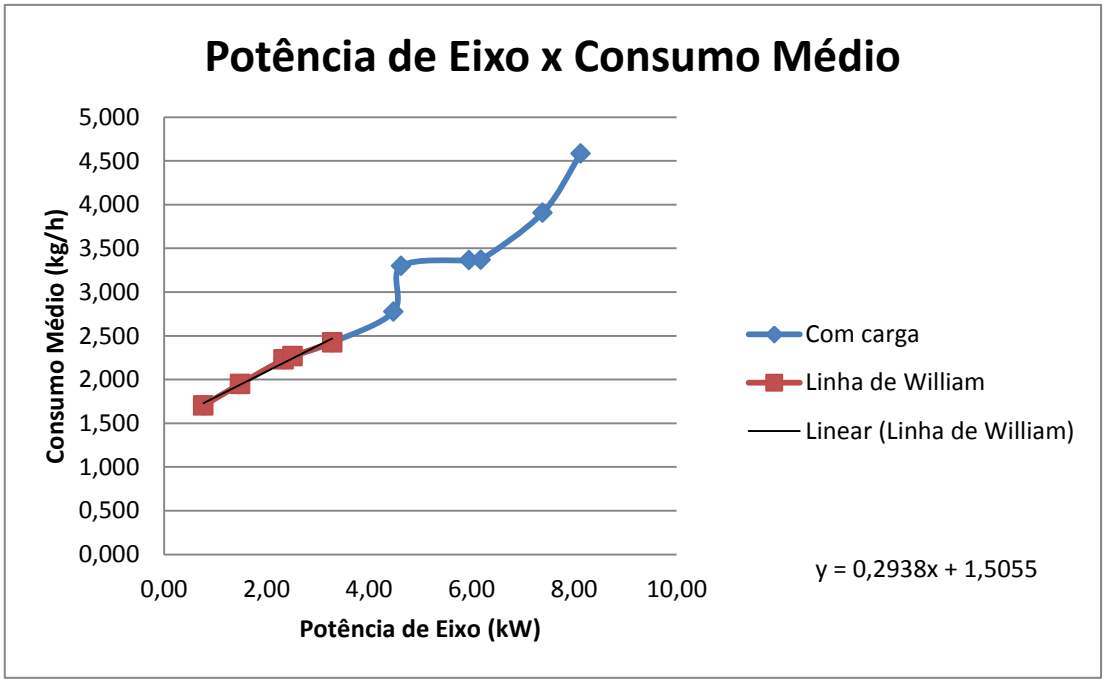


Figura 100 - Gráfico para o cálculo da Potência de atrito, B100.

$$fhp = 5{,}124\ kW$$

- **Emissões**

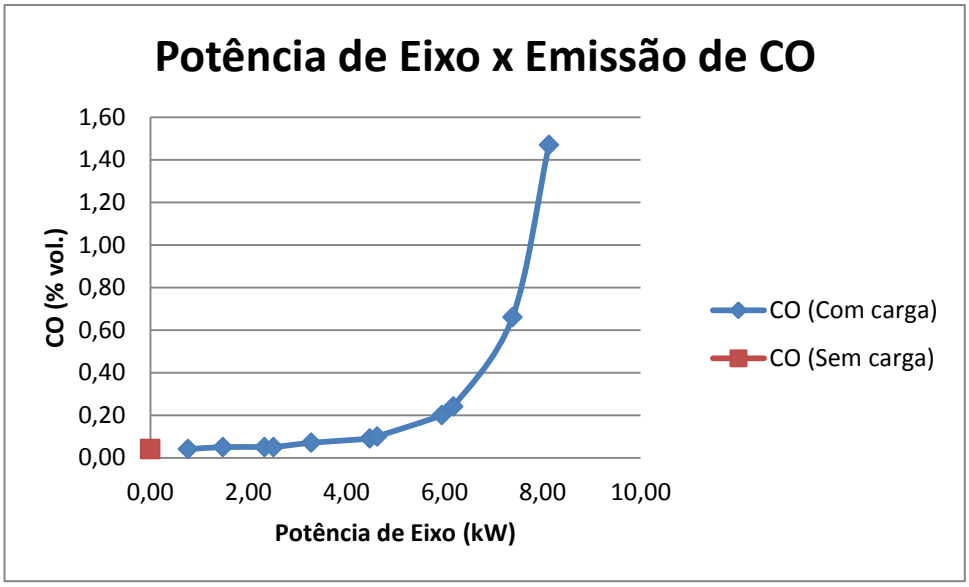


Figura 101 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, B100.

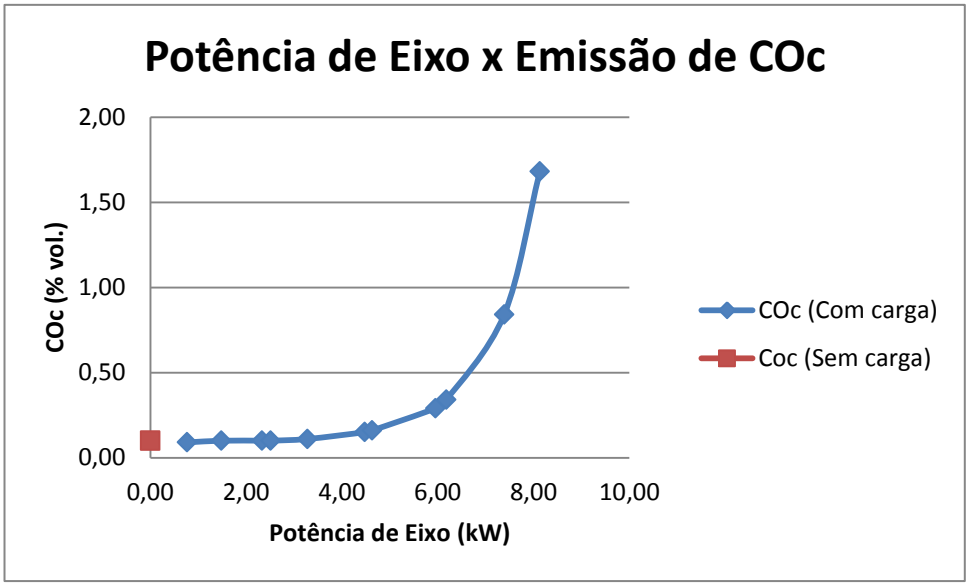


Figura 102 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, B100.

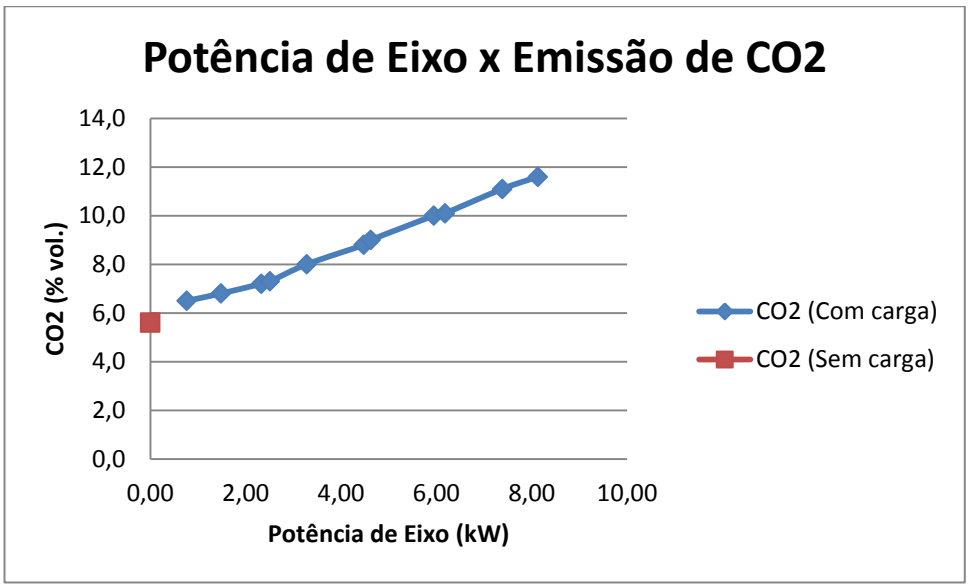


Figura 103 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, B100.

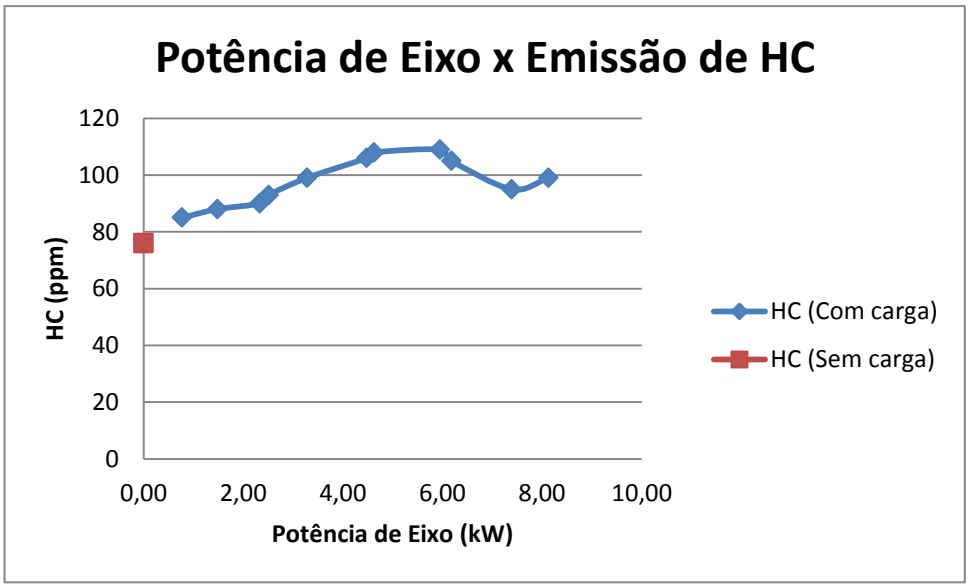


Figura 104 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, B100.

8.4 PANORAMA GERAL DOS TESTES

Para melhor visualização dos resultados foram inseridas ao texto tabelas comparativas de cada combustível utilizado e a seguir os gráficos contemplando todos os resultados obtidos em cada teste.

A diferença percentual calculada é sempre do melhor resultado em relação ao pior resultado obtido em cada teste.

Tabela 13 - Consumo Médio para cada combustível em cada carga de trabalho.

Carga	Consumo Médio (kg/h)									
	B0	B5 Comercial	B5	B10	B15	B20	B25	B50	B75	B100
0,0	1,22	1,18	1,23	1,42	1,29	1,26	0,98	1,56	1,53	1,15
1,0	1,49	1,52	1,55	1,54	1,57	1,50	1,68	1,73	1,64	1,70
2,0	1,68	1,73	1,69	1,61	1,76	1,66	1,79	1,89	1,83	1,95
3,0	1,91	1,86	1,93	1,99	1,96	1,96	1,94	2,07	1,92	2,23
4,0	1,89	1,84	1,92	2,12	1,98	2,01	2,03	2,11	2,18	2,27
5,0	2,07	2,24	2,19	2,38	2,15	2,16	2,19	2,30	2,34	2,43
6,0	2,35	2,37	2,45	2,51	2,61	2,55	2,52	2,72	2,80	2,78
7,0	2,66	2,85	2,51	2,74	2,53	2,65	2,61	2,77	2,77	3,30
8,0	2,93	3,24	2,85	3,05	3,01	2,96	2,98	3,00	3,07	3,36
9,0	2,98	3,09	3,08	3,16	3,08	3,01	3,08	3,12	3,30	3,37
10,0	3,55	3,51	3,64	3,58	3,62	3,51	3,50	3,59	3,67	3,91
11,0	3,83	4,04	4,08	3,97	4,17	4,19	3,90	4,20	4,40	4,58

Tabela 14 - Melhores e piores valores de Consumo Médio das misturas.

Carga	Melhor	Pior	Diferença Percentual (%)
0,0	B25	B50	37,0
1,0	B0	B50	13,7
2,0	B10	B100	17,6
3,0	B5 Comercial	B100	16,5
4,0	B5 Comercial	B100	18,9
5,0	B0	B100	14,7
6,0	B0	B75	16,1
7,0	B5	B100	23,9
8,0	B5	B100	15,3
9,0	B0	B100	11,5
10,0	B25	B100	10,3
11,0	B0	B100	16,4

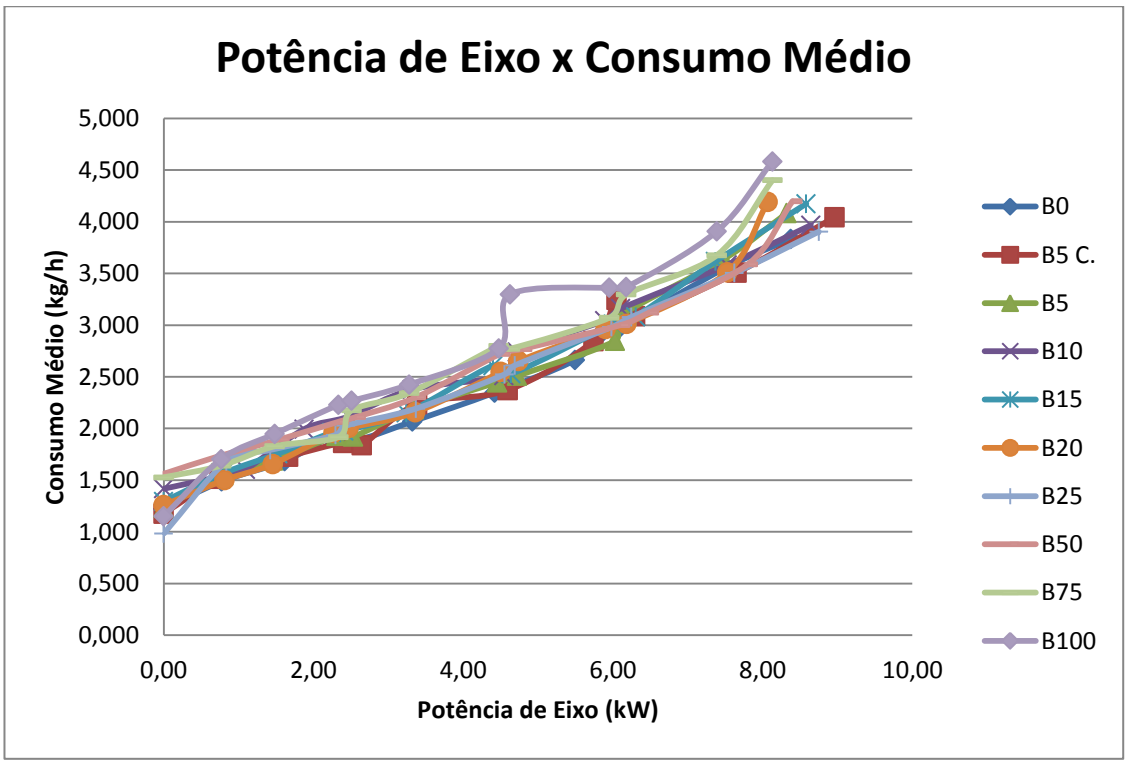


Figura 105 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Médio, Total.

Tabela 15 - Consumo Específico para cada combustível em cada carga de trabalho.

Carga	Consumo Específico (g/kWh)									
	B0	B5 Comercial	B5	B10	B15	B20	B25	B50	B75	B100
1,0	1932,5	2034,6	1935,4	2008,6	1986,3	1852,6	2010,3	2450,3	2140,1	2221,5
2,0	1043,4	1039,0	1156,4	1469,8	1152,5	1137,8	1260,4	1225,6	1232,6	1313,9
3,0	860,2	777,3	835,4	1063,9	873,8	864,3	844,6	882,8	822,7	956,5
4,0	733,0	695,4	759,3	856,9	821,4	812,6	833,8	823,1	867,0	903,5
5,0	622,7	660,3	654,2	716,4	664,1	642,4	650,9	683,6	714,7	739,4
6,0	531,3	516,1	549,2	552,3	593,2	565,9	554,4	605,5	625,0	619,8
7,0	484,6	495,8	531,6	580,1	545,2	560,2	556,6	578,2	598,9	712,7
8,0	499,8	536,5	472,4	516,8	501,1	501,7	498,3	491,9	516,1	565,4
9,0	488,6	490,0	506,5	517,6	488,8	487,3	492,8	481,5	533,6	545,0
10,0	473,6	458,3	486,3	476,0	490,7	466,5	459,7	460,0	497,5	528,9
11,0	457,8	451,4	490,5	459,0	486,3	519,5	446,1	499,9	541,3	563,7

Tabela 16 - Melhores e piores valores de Consumo Específico das misturas.

Carga	Melhor	Pior	Diferença Percentual (%)
1,0	B20	B50	24,4
2,0	B5 Comercial	B10	29,3
3,0	B5 Comercial	B10	26,9
4,0	B5 Comercial	B100	23,0
5,0	B0	B100	15,8
6,0	B5 Comercial	B75	17,4
7,0	B0	B100	32,0
8,0	B5	B100	16,4
9,0	B50	B100	11,7
10,0	B5 Comercial	B100	13,4
11,0	B25	B100	20,9

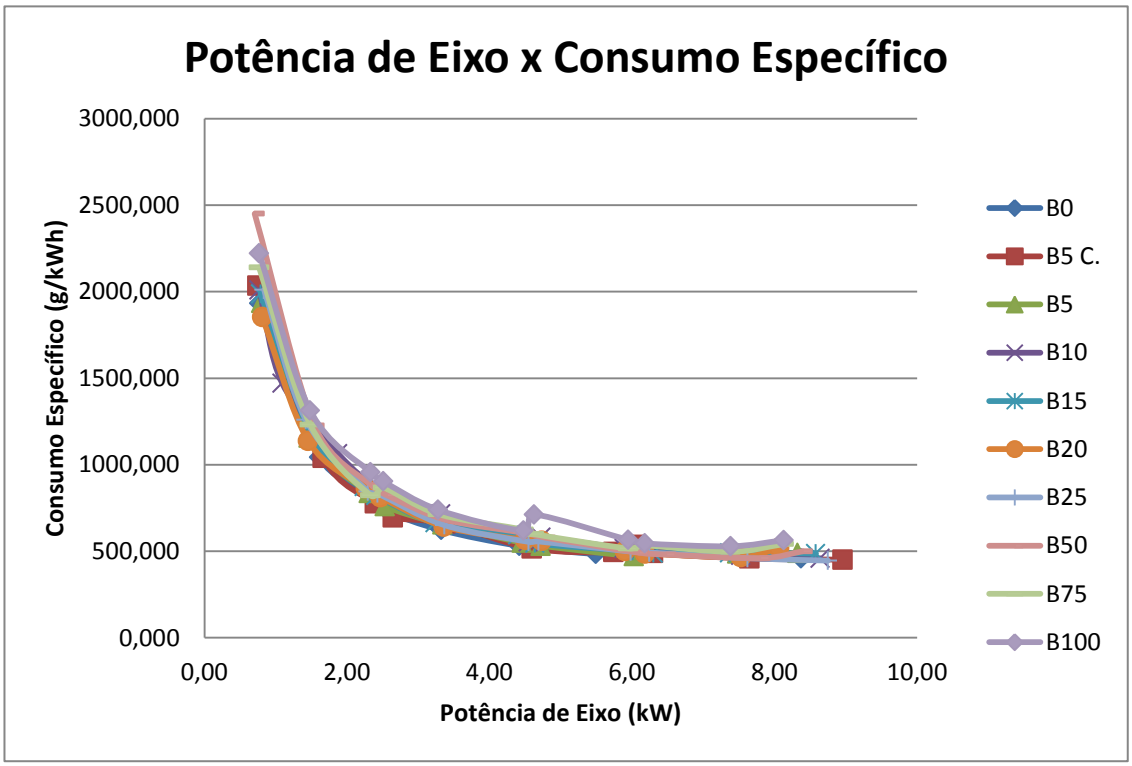


Figura 106 - Gráfico da Potência de Eixo pelo Consumo Específico, Total.

Tabela 17 - Emissão de CO para cada combustível em cada carga de trabalho.

Carga	CO (% vol.)									
	B0	B5 Comercial	B5	B10	B15	B20	B25	B50	B75	B100
0,0	0,02	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03	0,07	0,05	0,04	0,04
1,0	0,02	0,02	0,02	0,06	0,05	0,03	0,08	0,05	0,04	0,04
2,0	0,02	0,03	0,04	0,07	0,07	0,04	0,10	0,06	0,05	0,05
3,0	0,03	0,04	0,05	0,06	0,09	0,05	0,11	0,06	0,06	0,05
4,0	0,04	0,04	0,06	0,07	0,09	0,06	0,18	0,07	0,06	0,05
5,0	0,06	0,06	0,07	0,14	0,14	0,07	0,20	0,09	0,07	0,07
6,0	0,12	0,12	0,13	0,26	0,25	0,13	0,31	0,15	0,12	0,09
7,0	0,23	0,28	0,28	0,33	0,30	0,19	0,35	0,17	0,14	0,10
8,0	0,42	0,38	0,37	0,49	0,53	0,37	0,35	0,26	0,24	0,20
9,0	0,46	0,50	0,55	0,60	0,66	0,40	0,57	0,36	0,31	0,24
10,0	1,30	1,03	0,98	0,95	1,46	1,00	0,61	0,69	0,70	0,66
11,0	2,05	2,02	1,96	1,76	2,10	2,20	1,38	1,09	1,63	1,47

Tabela 18 - Melhores e piores valores de Emissão de CO das misturas.

Carga	Melhor	Pior	Diferença Percentual (%)
0,0	B0 e B5 Comercial	B25	71,4
1,0	B0, B5 Comercial e B5	B25	75,0
2,0	B0	B25	80,0
3,0	B0	B25	72,7
4,0	B0 e B5 Comercial	B25	77,8
5,0	B0 e B5 Comercial	B25	70,0
6,0	B100	B25	71,0
7,0	B100	B25	71,4
8,0	B100	B15	62,3
9,0	B100	B15	63,6
10,0	B25	B15	58,2
11,0	B50	B20	50,5

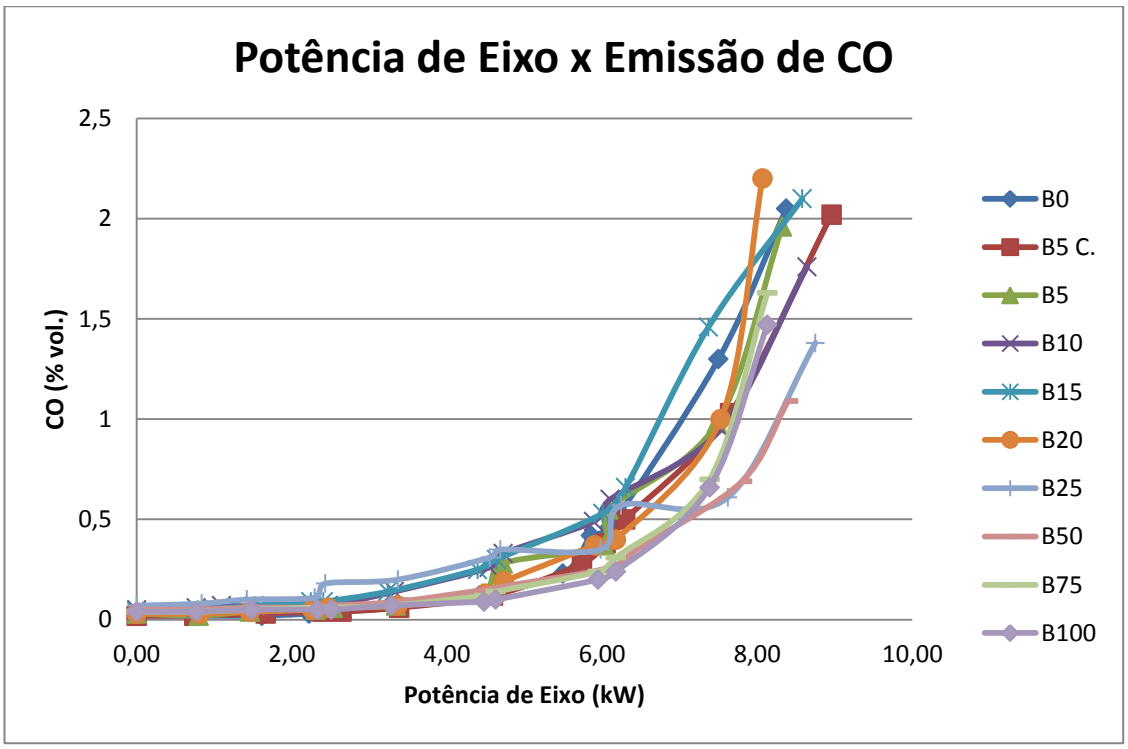


Figura 107 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO, Total.

Tabela 19 - Emissão de COc para cada combustível em cada carga de trabalho.

Carga	COc (%vol.)									
	B0	B5 Comercial	B5	B10	B15	B20	B25	B50	B75	B100
0,0	0,04	0,05	0,08	0,12	0,10	0,07	0,16	0,12	0,10	0,10
1,0	0,04	0,02	0,04	0,15	0,10	0,06	0,16	0,11	0,09	0,09
2,0	0,04	0,06	0,08	0,15	0,13	0,08	0,19	0,12	0,10	0,10
3,0	0,06	0,08	0,09	0,12	0,16	0,09	0,21	0,12	0,11	0,10
4,0	0,07	0,08	0,11	0,13	0,16	0,11	0,31	0,14	0,11	0,10
5,0	0,11	0,11	0,12	0,24	0,24	0,12	0,35	0,18	0,12	0,11
6,0	0,19	0,21	0,21	0,41	0,37	0,20	0,48	0,24	0,19	0,15
7,0	0,34	0,40	0,40	0,50	0,45	0,29	0,50	0,27	0,22	0,16
8,0	0,59	0,54	0,51	0,70	0,74	0,51	0,53	0,38	0,35	0,29
9,0	0,64	0,70	0,74	0,85	0,88	0,54	0,77	0,52	0,43	0,34
10,0	1,65	1,27	1,18	1,20	1,72	1,20	0,79	0,89	0,88	0,84
11,0	2,30	2,29	2,17	2,02	2,25	2,40	1,63	1,34	1,84	1,68

Tabela 20 - Melhores e piores valores de Emissão de COc das misturas.

Carga	Melhor	Pior	Diferença Percentual (%)
0,0	B0	B25	75,0
1,0	B5 Comercial	B25	87,5
2,0	B0	B25	78,9
3,0	B0	B25	71,4
4,0	B0	B25	77,4
5,0	B0, B5 Comercial e B100	B25	68,6
6,0	B100	B25	68,8
7,0	B100	B25	68,0
8,0	B100	B15	60,8
9,0	B100	B15	61,4
10,0	B25	B15	54,1
11,0	B50	B20	44,2

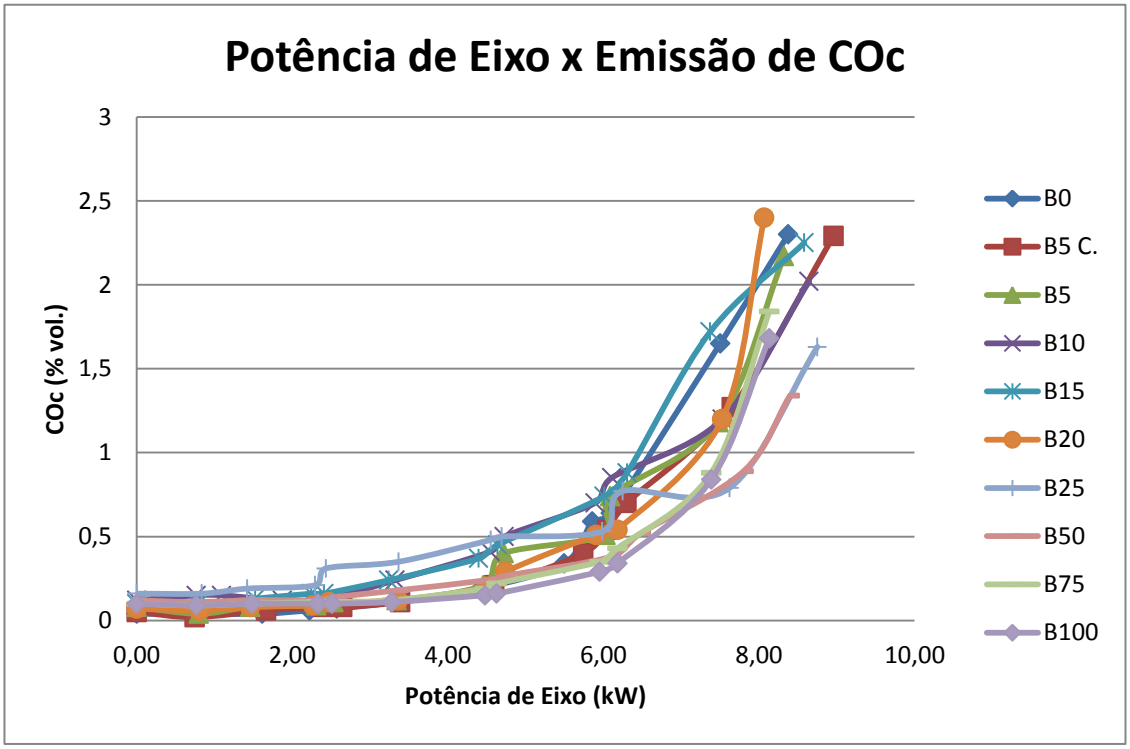


Figura 108 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de COc, Total.

Tabela 21 - Emissão de CO2 para cada combustível em cada carga de trabalho.

Carga	CO2 (% vol.)									
	B0	B5 Comercial	B5	B10	B15	B20	B25	B50	B75	B100
0,0	5,5	5,5	5,5	5,8	5,9	5,7	7,0	5,9	5,6	5,6
1,0	6,4	6,4	6,4	6,8	7,0	6,7	7,1	6,6	6,6	6,5
2,0	6,9	6,9	7,0	6,8	7,4	7,2	7,5	7,0	7,0	6,8
3,0	7,4	7,4	7,5	7,3	8,0	7,8	7,7	6,0	7,5	7,2
4,0	7,5	7,5	7,6	7,6	8,0	7,8	8,4	7,4	7,5	7,3
5,0	8,0	8,0	8,2	8,2	8,6	8,3	8,7	8,0	8,1	8,0
6,0	9,0	8,9	9,1	9,1	9,3	9,2	9,3	8,9	9,0	8,8
7,0	9,8	9,8	10,0	9,4	9,5	9,5	9,8	9,1	9,1	9,0
8,0	10,2	10,1	10,3	10,0	10,4	10,4	9,8	9,9	10,0	10,0
9,0	10,3	10,3	10,5	10,1	10,6	10,5	10,5	10,2	10,3	10,1
10,0	10,9	10,1	11,2	10,8	11,3	11,3	10,7	11,0	11,2	11,1
11,0	11,3	11,2	11,5	11,3	11,3	11,6	11,3	11,1	11,6	11,6

Tabela 22 - Melhores e piores valores de Emissão de CO2 das misturas.

Carga	Melhor	Pior	Diferença Percentual (%)
0,0	B0, B5 Comercial e B5	B25	21,4
1,0	B0, B5 Comercial e B5	B25	9,9
2,0	B10 e B100	B25	9,3
3,0	B50	B15	25,0
4,0	B100	B25	13,1
5,0	B0, B5 Comercial, B50 e B100	B25	8,0
6,0	B100	B15 e B25	5,4
7,0	B100	B5	10,0
8,0	B25	B15 e B20	5,8
9,0	B10 e B100	B15	4,7
10,0	B5 Comercial	B15 e B20	10,6
11,0	B50	B20, B75 e B100	4,3

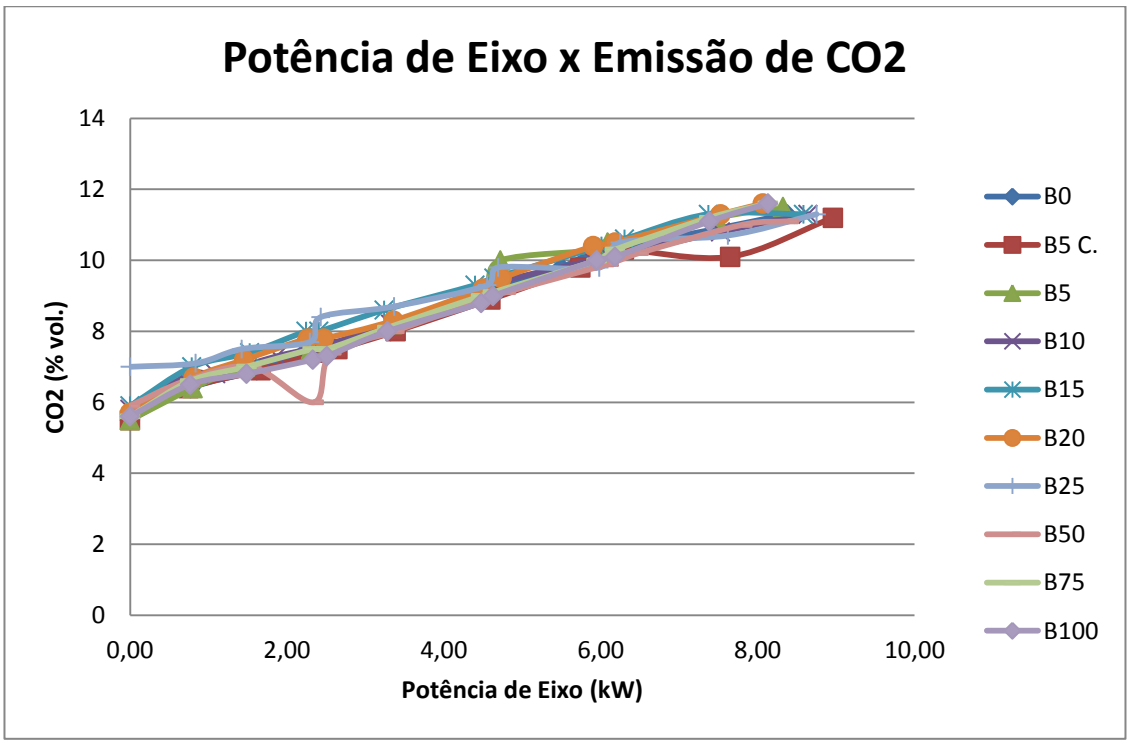


Figura 109 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de CO2, Total.

Tabela 23 - Emissão de HC para cada combustível em cada carga de trabalho.

Carga	HC (ppm)									
	B0	B5 Comercial	B5	B10	B15	B20	B25	B50	B75	B100
0,0	88	132	103	112	123	80	66	98	69	76
1,0	90	136	108	118	130	81	66	101	75	85
2,0	96	144	112	125	136	85	76	105	81	88
3,0	101	150	113	130	140	87	89	104	83	90
4,0	101	152	114	131	138	83	97	107	85	93
5,0	100	154	113	132	139	83	105	109	91	99
6,0	103	159	118	129	137	84	107	112	94	106
7,0	99	159	116	121	134	78	108	108	92	108
8,0	93	160	116	115	126	68	111	106	90	109
9,0	89	160	112	120	119	61	112	100	80	105
10,0	93	160	119	123	120	60	116	90	73	95
11,0	118	162	139	130	133	76	130	55	83	99

Tabela 24 - Melhores e piores valores de Emissão de HC das misturas.

Carga	Melhor	Pior	Diferença Percentual (%)
0,0	B25	B5 Comercial	50,0
1,0	B25	B5 Comercial	51,5
2,0	B25	B5 Comercial	47,2
3,0	B75	B5 Comercial	44,7
4,0	B20	B5 Comercial	45,4
5,0	B20	B5 Comercial	46,1
6,0	B20	B5 Comercial	47,2
7,0	B20	B5 Comercial	50,9
8,0	B20	B5 Comercial	57,5
9,0	B20	B5 Comercial	61,9
10,0	B20	B5 Comercial	62,5
11,0	B50	B5 Comercial	66,0

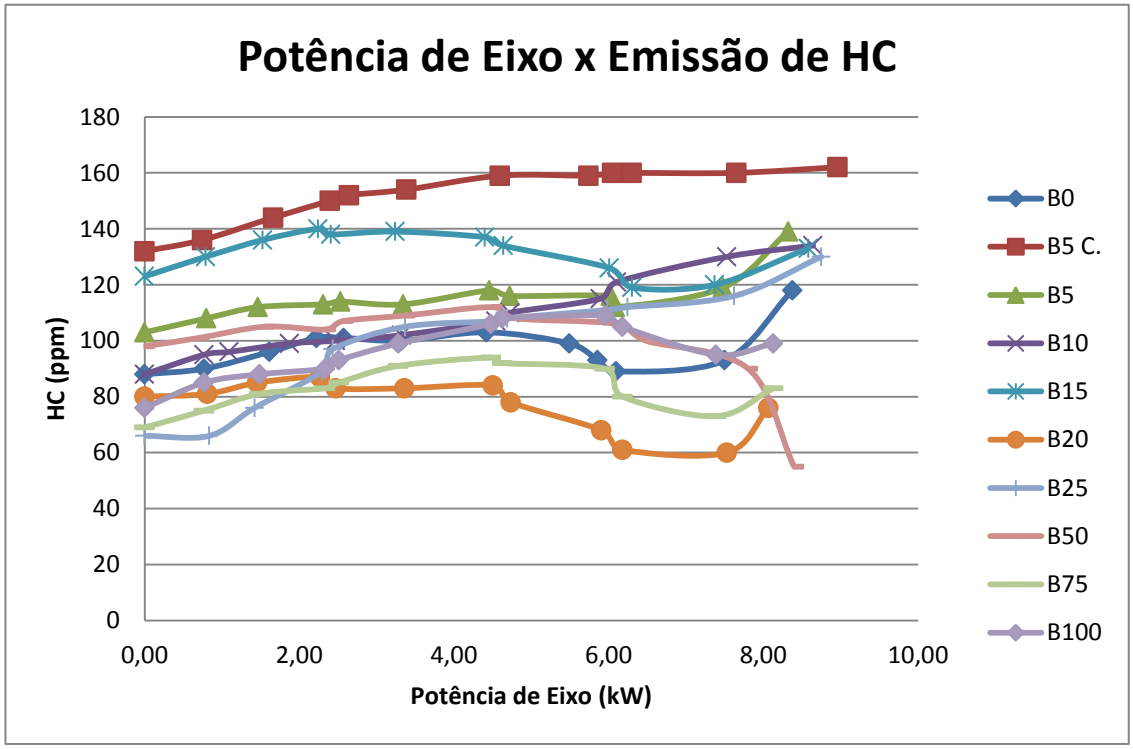


Figura 110 - Gráfico da Potência de Eixo pela Emissão de HC, Total.

8.5 ROTAÇÃO DO MOTOR

Tabela 25 - Rotação do motor para cada combustível em cada carga de trabalho.

Carga	Rotação (RPM)									
	B0	B5 Comercial	B5	B10	B15	B20	B25	B50	B75	B100
0,0	1818,0	1796,4	1851,6	1818,0	1829,4	1818,0	1829,4	1829,4	1807,2	1807,2
1,0	1818,0	1796,4	1818,0	1818,0	1818,0	1796,4	1818,0	1807,2	1818,0	1818,0
2,0	1775,4	1796,4	1818,0	1807,2	1775,4	1818,0	1807,2	1785,6	1796,4	1796,4
3,0	1807,2	1796,4	1807,2	1796,4	1785,6	1818,0	1807,2	1796,4	1796,4	1796,4
4,0	1807,2	1796,4	1807,2	1796,4	1785,6	1796,4	1807,2	1785,6	1807,2	1807,2
5,0	1775,4	1796,4	1796,4	1796,4	1796,4	1796,4	1796,4	1785,6	1785,6	1785,6
6,0	1775,4	1775,4	1807,2	1785,6	1796,4	1796,4	1796,4	1785,6	1785,6	1785,6
7,0	1775,4	1775,4	1775,4	1785,6	1818,0	1829,4	1785,6	1764,6	1775,4	1775,4
8,0	1775,4	1775,4	1851,6	1775,4	1851,6	1775,4	1785,6	1764,6	1863,6	1863,6
9,0	1775,4	1775,4	1764,6	1775,4	1764,6	1764,6	1775,4	1764,6	1887,0	1887,0
10,0	1754,4	1744,2	1744,2	1775,4	1764,6	1775,4	1764,6	1887,0	1754,4	1754,4
11,0	1734,0	1744,2	1744,2	1754,4	1734,0	1744,2	1754,4	1744,2	1948,2	1948,2

Tabela 26 - Máxima e mínima rotação de trabalho do motor durante todos os testes.

Máxima	Mínima
1948,2	1734,0

Com a tabela acima é visto que a rotação não se mantem constante em todo o teste, porém a sua variação é pequena chegando no máximo a 3,6% de queda e 8,2% de aumento em relação a rotação ideal para o motor de 1800 RPM.

A rotação varia inversamente com a carga aplicada, quanto maior a carga menor a rotação.

Esses dados representam três características, a primeira sendo a relação do biodiesel como um lubrificante para o motor, pois quanto mais biodiesel apresenta a mistura mais o motor conseguir manter a sua faixa de 1800 RPM.

A segunda se relaciona ao limite de desempenho do motor, onde ele consegue por um fator de potencia de 0,8 chegar a uma potencia útil de 10kW, sendo assim nas ultimas duas cargas (10 kW e 11 kW) a rotação não consegue se manter e cai drasticamente.

A terceira se característica se relaciona as emissões causadas pelo motor, pois também nas duas ultimas cargas com a diminuição da rotação temos um aumento exagerado na taxa de CO, CO_2 e HC.

8.6 RENDIMENTO MECÂNICO

Tendo a potência de eixo e a potência de atrito calculada para cada combustível pode-se achar a potência indicada (ihp) por meio da equação (4.5).

Com os dados da potência indicada (ihp) e da potência de eixo de dois pistões (bhp) temos o rendimento mecânico do motor, de acordo com a equação 4.5.2.

$$\eta_m = \frac{bhp}{ihp}$$

Para cada potência indicada e de eixo e para cada combustível tem um rendimento mecânico do motor. A Figura 111 mostra a curva de rendimento mecânico para cada combustível testado.

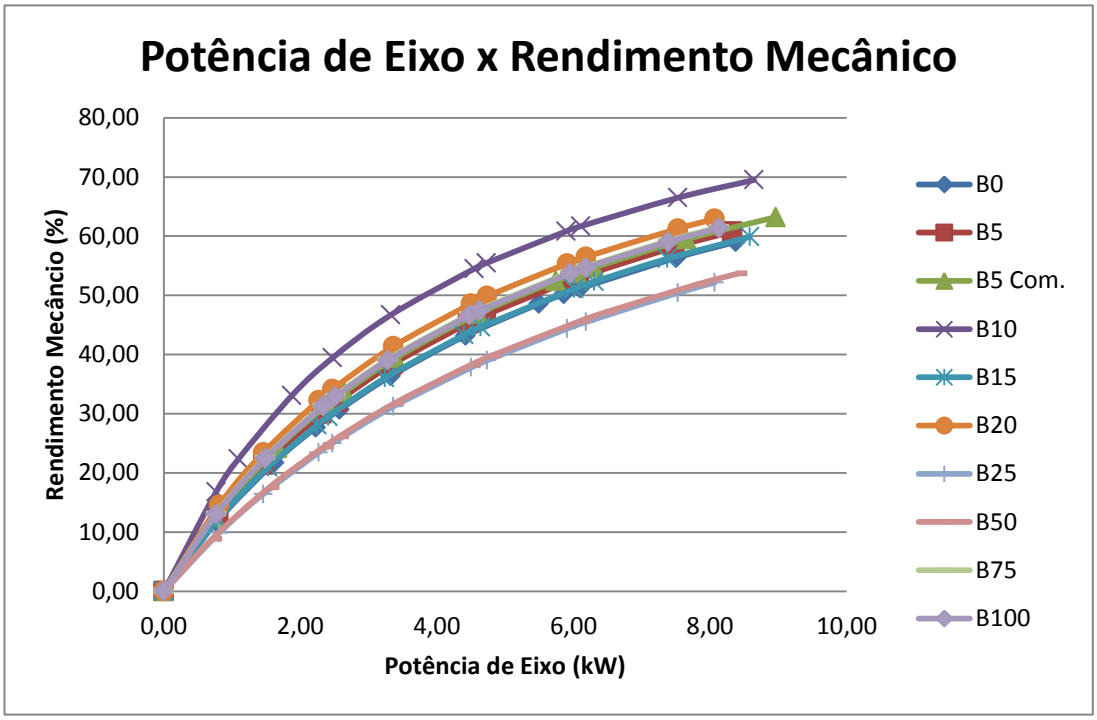


Figura 111 - Potência de Eixo pelo Rendimento Mecânico, para cada combustível.

O combustível que obteve o melhor rendimento mecânico foi a mistura B10 e a pior mistura em questão de rendimento mecânico foi o B25. As tabelas seguem na seção 13.3.

Essa relação entre o biodiesel e o rendimento mecânico já era esperado devido o biodiesel agir como um lubrificante gerando assim uma menor potência de atrito conforme o aumento do mesmo. Porém com o aumento do biodiesel na mistura começa a ter algumas dificuldades. Como o motor é antigo e apresenta injeção direta a vedação dos pistões (anéis de vedação) podem estra comprometidos fazendo com que uma porcentagem do combustível escape da câmara de combustão. Isso além de causar mais consumo e menor potencia de eixo pode gerar problemas futuro ao motor devido o contato com do biodiesel com o lubrificante do carro. Para uma maior certeza desse problema deverá ser feito um estudo futuro analisando o lubrificante.

9. DISCUSSÃO

Quanto ao Consumo de combustíveis:

Em geral, observa-se da Tabela 13 que o Biodiesel puro (B100) apresentou um consumo médio mais elevado para a maioria das cargas aplicadas, para o regime sem carga e para duas cargas aplicadas o B50 e o B75 se mostraram menos eficientes com relação ao consumo de combustível. Teoricamente, o resultado esperado seria um maior consumo em todas as situações, com carga ou não, utilizando o combustível B100, devido ao seu poder calorífico ser inferior ao do diesel puro (B0).

Esses valores maiores para B50 e o B75 podem ser explicados pela proximidade da faixa de resultados em que se foram conduzidos os testes, ou seja, a variação de consumo de combustível não é muito grande.

A rotação do motor influi diretamente no consumo de combustível e pela Tabela 25 pode-se notar que apesar do motor ser estacionário (funciona a rotação constante) há certa variação na rotação do mesmo, variação máxima de 1948,2 RPM e variação mínima de 1734,0 RPM (Tabela 26). Em um motor de velocidade constante, quanto mais os valores se afastam da velocidade teórica de trabalho maior a variação dos resultados obtidos.

O consumo específico mais elevado foi verificado utilizando-se o B100. O menor valor para o consumo específico se deu com o uso, principalmente, do B5 Comercial e do B0 (Diesel Puro). Essa diferença de consumo específico entre os combustíveis é esperada, visto que, apesar do Biodiesel diminuir a potência de atrito devido a sua lubricidade, ou seja, aumentar a potência de eixo, ele ainda mantem o consumo médio alto devido ao seu reduzido poder calorífico.

A diferença de viscosidade entre o biodiesel e o diesel também pode ser apontada como fator importante na diferença do consumo específico, causando atomização deficiente, provocando queima incompleta do combustível (Marcio Castellanelli, 2008).

Além disso, a turbulência ideal para que a atomização seja maximizada está atrelada também a características particulares do motor. Assim, a melhor faixa de desempenho do motor ensaiado não será idêntica a outro motor com características diferentes (Marcio Castellanelli, 2008).

Essa atomização é proporcionada pelos bicos injetores. É um processo de aumento de área de contato eficiente que ajuda numa combustão mais completa do combustível.

Quanto as Emissões de Poluentes:

Em geral, da Tabela 17 os dois extremos de combustíveis analisados, B0 (Óleo Diesel Puro) e o B100 (Biodiesel Puro), obtiveram valores mais baixos em comparação as misturas Diesel/Biodiesel. Para zero carga e baixas cargas, até 5kW, o B0 e o B5 Comercial (Óleo Diesel Comercial) obtiveram menores valores de emissão do gás CO (monóxido de carbono). Já para cargas mais altas aplicadas, de 6kW a 9kW, os menores valores foram encontrados utilizando o B100. Nas duas últimas cargas, 10kW

e 11kW, as misturas B25 e B50, respectivamente, tiveram melhores resultados quanto a emissão de CO.

Os maiores valores de emissão de CO foram encontrados utilizando o combustível B25. Apenas em cargas altas como de 8kW a 11kW as piores emissões se deram com o uso de B15 (de 8kW a 10kW) e de B20 (11kW).

A emissão de CO está relacionada à falta de oxigênio na combustão. Apesar de motores a diesel trabalharem com excesso de ar conforme há um aumento de carga a bomba injetora cede maior quantidade de combustível a fim de manter a rotação o que provoca uma insuficiência de ar em determinados pontos da câmara fazendo a formação de CO nos gases de escapamento. Em baixas cargas a formação de CO devido ao acionamento a frio e o emprego do motor de arranque. (H.M.Chollet)

A mesma análise feita para a emissão de CO pode ser feita para a emissão do gás poluente COc (monóxido de carbono corrigido) (Tabela 19) que é apenas uma correção dos dados obtidos em CO.

Para as emissões de CO_2, os piores valores foram registrados com as misturas B15 e B25. Já os melhores valores, ou maiores reduções dessas emissões, foram encontradas em B0, B5 Comercial, B5, B50 e B100, dependendo da carga aplicada (Tabela 21).

A emissão de HC (hidrocarbonetos) foi reduzida, principalmente, com as misturas B20, em altas cargas (4kW a 10kW), e B25, em baixas ou sem carga (0 a 2kW)(

Tabela 23).

Entretanto, teve-se um alto valor das emissões desse poluente com o uso do B5 Comercial (Óleo Diesel Comercial), chegando há uma variação percentual de 62,5% em relação ao combustível B20 (20% de Biodiesel e 80% de Óleo Diesel Puro) (

Tabela 24).

Um dos motivos para essa discrepância, para certas cargas e misturas, entre o valor encontrado nas emissões e o valor esperado pode ser atribuído ao próprio consumo de combustível. Uma vez que o consumo teve variações não esperadas devido a fatores explicados no início do tópico, variações não esperadas de emissões foram adquiridas.

A formação de HC provêm da camada de mistura presente na câmara que entra diretamente em contato com as paredes metálicas internas, cujo efeito esfriador dá origem a uma combustão lenta dando origem aos hidrocarbonetos não-queimados. Os HC tem uma relação direta com a temperatura. (H.M.Chollet) Outro fator de formação é a eficiência de combustão de cada motor, maiores eficiência geram menores taxas de HC.

O Analisador de Gases é outro problema com relação as incertezas dos dados gerados. A sua não calibração e filtros impróprios instalados no mesmo também podem ter contribuído para a discrepância dos resultados obtidos. Por exemplo, quanto aos filtros que estavam instalados no analisador, filtros para líquido, mais precisamente gasolina, que não condiz com os gases poluentes propostos no projeto.

10. CONCLUSÃO

Com a metodologia adotada foi possível obter dados precisos da potência do motor e do seu consumo, tornando assim, viável a proposta de verificar a influência do uso de Biodiesel e suas variadas misturas (com o Óleo Diesel) fabricado na própria Micro Usina (UnB) como na produção manual (Bloco G, campus Darcy).

A nova caixa de resistência mais estruturada e fechada corretamente foi possível verificar com uma maior precisão os resultados, pois se pode saber ao certo a quantidade de carga que está sendo aplicada no motor.

A partir dessas melhorias e metodologias adotadas consegue-se alcançar os objetivos do trabalho que é a analise da potência e emissões das diferentes misturas de biodiesel no diesel. Com isso percebe-se qual seria a melhor mistura para a implementação nas cidades com bases nos custos benefícios.

Com os processos de qualidade do biodiesel evidencia-se o uso de misturas de biodiesel até o B20 (20% de biodiesel no diesel puro). O uso de biodiesel reduz as emissões como demostrado nesse projeto, sendo assim a implementação do B20 nas áreas metropolitanas irá proporcionar uma maior qualidade do ar, principalmente os relacionados com o enxofre que é emitido pelo diesel.

Para a implementação do B20 ainda existem alguns problemas devido ao maior preço do biodiesel, a maior emissão de NO_x, ao Brasil não ser capaz de suprir o volume que seria demandado. Porem esses problemas já estão possui algumas soluções com o tempo. Com o aumento da demanda do

biodiesel provavelmente haveria uma maior produtividade diminuindo o preço. Já existem métodos para contornar ou diminuir as emissões de NO_x. (Rocha & Freitas)

O maior desafio gerado pela adição do biodiesel é o preço, o biodiesel ainda é cerca de 60% mais caro que o diesel mineral. Existem alguns projetos que já estão utilizando o B20 para analisar seu desempenho. Um desses projetos é a utilização desse biodiesel nos ônibus que vão sediar as Olimpíadas de 2016.

11. PROPOSTAS FUTURAS

Adicionar um maior número de resistências para conseguir uma maior faixa de resultado, trabalhando assim com valores mais próximos ainda do que efetivamente acontece em uma dada situação de trabalho do motor.

Coletar Biodiesel e envelhece-lo e analisar qual a influência e o comportamento que a oxidação tem no consumo e nas emissões de poluentes dos combustíveis.

Adicionar novos pacotes de aditivos para determinar a eficácia de cada um.

Fazer testes com Biodiesel proveniente de outras matérias-primas como, por exemplo, o Biodiesel feito a partir da Macaúba (palmeira nativa das Florestas Tropicais, em grande dispersão no Brasil) e de algas marinhas.

Adicionar uma análise de Emissões de particulados no teste de motor, devido ao material particulado ser um dos graves poluentes presentes nos motores a Diesel.

Analise do óleo lubrificante do motor para obter um estudo de como o biodiesel reage com o motor e se é necessária uma maior vedação. Como a verificação e limpeza da câmara de combustão, pois podem apresentar possíveis dejetos e borras provenientes, principalmente, do Biodiesel podendo influir na vida dos pistões e da câmara em si.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Engenharia Automotiva e Espacial. (2012). *SAE BRASIL*.

ABNT, A. B. (s.d.). ABNT NBR 14248. Produtos de Petróleo- 2009.

Allan Bonnick, D. N. (2011). *A Pratical Approach to Motor Vehicle Engineering and maintenance.*

Andorno, S. (2007). *Ciclo Otto e Ciclo Diesel.* ITI OMAR - Dipartimento di Meccanica.

Ángyán, J. (2003). *OPEP: A tool for the optimal partitioning of electric properties*. Acesso em 13 de Novembro de 2012, disponível em http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jcc.10236/full

ANP. (Setembro de 2010). Acesso em 20 de Novembro de 2012, disponível em www.anp.gov.br/?dw=28386

ANP. (2012). *ANP*. Acesso em 25 de Novembro de 2012, disponível em http://www.anp.gov.br/?id=470

Biodieselbras. (2007). *Biodieselbras*. Acesso em 20 de Novembro de 2012, disponível em http://www.biodieselbras.com.br

Braun, J. (2003). Quantitative imaging of the T cell antitumor response by positron-emission tomography.

Caetano, t., & R.S., M. (2003). *Estudo da miscibilidade de etanol com componentes do diesel e biodiesl.* Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas.

Cantero, A. (2012). Diesel e Emissões - A nova legislação 2012. *ANFAVEA.*

Costa, B. J., & Oliveira, M. M. (2006). *Produção de Biodiesel.* Instituto de Tecnologia do Paraná.

EPE. (2012). Acesso em 1 de Dezembro de 2012, disponível em http://www.epe.gov.br

Ferrari, R. A., Scabo, A., & Oliveira, V. S. (2004). *Biodiesel production and its use at UEPG.* Ciências Exatas da Terra.

Geris, R., Santos, n., Amaral, B. M., Castro, V., & Carvalho. (2007). *Reação de Transesterificação para Aulas Práticas de Química Orgânica.* Salvador: Química Nova.

Goldani, E. (2008). *Tratamento Físico-Químico Dos Efluentes Líquidos Provenientes Da Purificação Do Biodiesel.* Pelotas.

Goldani, E., Boni, L. A., Frankenberg, C., & Cantelli, M. (2008). *Tratamento físico-químico dos efluentes líquidos provenientes da purificação do biodiesel.* Agroenergia.

Goldemberg, & Lucon. (2007). Energia e Meio Ambiente no Brasil. *Análise Energia 2011*.

H.M.Chollet. (s.d.). *Mecânicos de Automóveis.* Hemus.

Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engines Fundamentals.* McGraw-Hill.

http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/artigos_energia/o_biodiesel_e_a_inclusao_social.html. (s.d.). Fonte: O Biodiesel e a Inclusão Social.

Jr, H. J.-A. (s.d.). Proconve - As fases passadas e futuras.

Knothe, G., Gerpen, J. V., Krhal, J., & Ramos, L. P. (2006). *Manual de Biodiesel.* São Paulo: Edgard Blucher.

Lemaire, J., Mustela, W., & Zelenca, P. (1994). Soc.Automot. Eng.

Marcio Castellanelli, S. N. (2008). *Desempenho de motor ciclo Diesel em bancada dinanométrica utilizando misturas diesel/biodiesel.* Jaboticabal.

Noureddini, H. (2001). *System and process for producting biodiesel fuel with reduced viscosity and a cloud point below thirty-two (32) degrees Fahrenheit.*

Obert, E. F. (1971). *Motores de combustão interna.* Porto Alegre: Globo.

PETROBRAS. (2013). *PETROBRAS.* Fonte: http://fatosedados.blogspetrobras.com.br/2013/02/06/

Rajput, R. K. (2007). *A textbook Automobile Engineering.* LAXMI PUBLICATIONS.

Shibasaki-Kitakawa, N. H. (2007). *Biodiesel production using anionic ion-exchange resin as heterogeneous catalyst.* Bioresour Technol.

Silvana Braun, L. G. (2003). A POLUIÇÃO GERADA POR MÁQUINAS DE COMBUSTÃO INTERNA MOVIDAS À DIESEL - A QUESTÃO DOSPARTICULADOS. ESTRATÉGIAS ATUAIS PARA A REDUÇÃO E CONTROLE DAS EMISSÕES E TENDÊNCIASFUTURAS.

www.institutopnbe.org.br . (s.d.). Fonte: Programa Bióleo Duplamente Sustentável. Projeto Brasil 2022. Instituto PNBE de Desenvolvimento Social.

13. APÊNDICE

13.1 APÊNDICE 1: CRONOGRAMA DE ATIVIDADES DO PROJETO DE GRADUAÇÃO.

Tabela 27 - Cronograma de atividades experimentais - PG1.

CRONOGRAMA ATIVIDADES EXPERIMENTAIS - PG1															
Descrição dos Serviços	**1ª**	**2ª**	**3ª**	**4ª**	**5ª**	**6ª**	**7ª**	**8ª**	**9ª**	**10ª**	**11ª**	**12ª**	**13ª**	**14ª**	**15ª**
Manutenção do Motor	x	x	x												
Limpeza do Laboratório			x	x											
Limpeza da Usina Biodiesel					x										
Limpeza dos Reservatórios da Usina					x	x									
Aquisição do Óleo de Fritura						x									
Instalação Aparato Experimental							x	x	x	x	x				
Testes com o Diesel Puro												x	x	x	x

Tabela 28 - Cronograma de atividades experimentais - PG2.

CRONOGRAMA ATIVIDADES EXPERIMENTAIS - PG2															
Descrição dos Serviços	**1ª**	**2ª**	**3ª**	**4ª**	**5ª**	**6ª**	**7ª**	**8ª**	**9ª**	**10ª**	**11ª**	**12ª**	**13ª**	**14ª**	**15ª**
Sintetizar o Biodiesel	x	x													
Envelhecer parte do Biodiesel	x														
Adicionar aditivos	x														
Preparar as misturas			x	x	x										
Testes com o Biodiesel			x	x	x	x	x	x	x						
Testes com o Biodiesel Aditivado										x	x	x	x	x	x

13.2 APÊNDICE 2: TABELAS DE POTÊNCIA, CONSUMO DOS COMBUSTIVÉIS E EMISSÕES

Tabela 29 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B0.

Potência									
	Fase 3		Fase 2		Fase 1				
Carga (kW)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Frequência (Hz)	RPM	Potência de Eixo (kW)
0,0	0,0	210,0	0,0	210,0	0,0	210,0	30,30	1818,0	0,00
1,0	3,5	220,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,30	1818,0	0,77
2,0	0,3	221,0	0,4	213,0	7,1	206,0	29,59	1775,4	1,61
3,0	3,2	222,0	0,0	222,0	7,2	210,0	30,12	1807,2	2,22
4,0	0,0	220,0	4,7	205,0	7,7	209,0	30,12	1807,2	2,57
5,0	3,0	221,0	4,9	215,0	7,5	214,0	29,59	1775,4	3,32
6,0	7,2	222,0	5,1	225,0	7,6	220,0	29,59	1775,4	4,42
7,0	11,2	223,0	5,4	234,0	7,7	225,0	29,59	1775,4	5,49
8,0	7,0	227,0	5,1	224,0	15,1	207,0	29,59	1775,4	5,86
9,0	2,2	224,0	12,2	201,0	15,3	206,0	29,59	1775,4	6,10
10,0	6,7	224,0	12,8	210,0	15,7	211,0	29,24	1754,4	7,50
11,0	10,5	220,0	12,6	216,0	15,7	213,0	28,90	1734,0	8,38

- **Consumo de Combustível**

Tabela 30 - Medição de consumo de combustível, B0.

Consumo								
Carga	Consumo a cada 15s				Consumo Médio (g/15s)	Consumo Médio (kg/h)	Consumo Específico (g/kWh)	Desvio Padrão (g/15s)
	1	2	3	4				
0,0	5,28	4,61	5,01	5,46	5,090	1,222	-	0,370
1,0	6,15	6,23	6,15	6,27	6,200	1,488	1932,468	0,060
2,0	7,05	6,77	7,23	7,02	7,017	1,684	1043,430	0,189
3,0	8,15	7,74	8,36	7,61	7,965	1,912	860,151	0,350
4,0	7,82	8,14	7,75	7,72	7,858	1,886	732,976	0,193
5,0	9,05	8,31	8,55	8,56	8,618	2,068	622,670	0,311
6,0	10,03	9,41	9,87	9,81	9,780	2,347	531,293	0,264
7,0	11,30	11,74	10,61	10,72	11,093	2,662	484,591	0,527
8,0	12,97	12,20	12,51	11,11	12,198	2,927	499,804	0,791
9,0	12,84	12,58	12,06	12,17	12,413	2,979	488,617	0,362
10,0	15,04	14,71	15,17	14,29	14,803	3,553	473,585	0,393
11,0	15,71	16,42	15,870	15,900	15,975	3,834	457,753	0,308

Tabela 31 - Tabela de emissões para B0.

Emissões				
Carga	CO (% vol.)	COc (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm)
0,0	0,02	0,04	5,5	88
1,0	0,02	0,04	6,4	90
2,0	0,02	0,04	6,9	96
3,0	0,03	0,06	7,4	101
4,0	0,04	0,07	7,5	101
5,0	0,06	0,11	8	100
6,0	0,12	0,19	9	103
7,0	0,23	0,34	9,8	99
8,0	0,42	0,59	10,2	93
9,0	0,46	0,64	10,3	89
10,0	1,3	1,65	10,9	93
11,0	2,05	2,3	11,3	118

Tabela 32 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B5.

Potência									
	Fase 3		Fase 2		Fase 1				
Carga (kW)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Frequência (Hz)	RPM	Potência de Eixo (kW)
0,0	0,0	220,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,86	1851,6	0,00
1,0	3,6	222,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,30	1818,0	0,80
2,0	0,0	220,0	0,0	220,0	7,1	206,0	30,30	1818,0	1,46
3,0	3,3	222,0	0,0	220,0	7,5	210,0	30,12	1807,2	2,31
4,0	0,0	220,0	4,7	205,0	7,5	209,0	30,12	1807,2	2,53
5,0	3,0	221,0	4,9	215,0	7,6	214,0	29,94	1796,4	3,34
6,0	7,4	222,0	5,2	225,0	7,5	219,0	30,12	1807,2	4,46
7,0	2,6	218,0	12,4	202,0	7,6	217,0	29,59	1775,4	4,72
8,0	6,8	219,0	13,1	212,0	7,9	223,0	30,86	1851,6	6,03
9,0	2,2	224,0	12,1	200,0	15,4	206,0	29,41	1764,6	6,09
10,0	6,7	224,0	12,9	210,0	15,5	211,0	29,07	1744,2	7,48
11,0	10,9	220,0	12,0	215,0	15,7	213,0	29,07	1744,2	8,32

- **Consumo de Combustível**

Tabela 33 - Medição de consumo de combustível, B5.

Consumo								
Carga	Consumo a cada 15s				Consumo Médio (g/15s)	Consumo Médio (kg/h)	Consumo Específico (g/kWh)	Desvio Padrão (g/15s)
	1	2	3	4				
0,0	5,59	4,94	4,99	5,00	5,130	1,231	-	0,308
1,0	6,49	6,51	6,57	6,21	6,445	1,547	1935,435	0,160
2,0	7,17	7,23	7,00	6,79	7,047	1,691	1156,434	0,197
3,0	8,32	7,82	8,27	7,72	8,033	1,928	835,413	0,307
4,0	8,30	8,18	7,71	7,84	8,007	1,922	759,305	0,278
5,0	9,91	9,13	8,88	8,53	9,112	2,187	654,222	0,586
6,0	10,08	10,03	10,31	10,36	10,195	2,447	549,189	0,164
7,0	11,14	9,71	10,57	10,41	10,458	2,510	531,647	0,589
8,0	12,98	10,60	11,89	11,99	11,865	2,848	472,388	0,976
9,0	13,43	12,56	12,99	12,39	12,843	3,082	506,508	0,466
10,0	16,04	14,98	14,80	14,81	15,158	3,638	486,317	0,594
11,0	18,89	13,03	19,050	17,070	17,010	4,082	490,549	2,801

Tabela 34- Tabela de Emissões para B5.

Emissões				
Carga	CO (% vol.)	COc (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm)
0,0	0,03	0,08	5,5	103
1,0	0,02	0,04	6,4	108
2,0	0,04	0,08	7	112
3,0	0,05	0,09	7,5	113
4,0	0,06	0,11	7,6	114
5,0	0,07	0,12	8,2	113
6,0	0,13	0,21	9,1	118
7,0	0,28	0,4	10	116
8,0	0,37	0,51	10,3	116
9,0	0,55	0,74	10,5	112
10,0	0,98	1,18	11,2	119
11,0	1,96	2,17	11,5	139

Tabela 35 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B10.

- **Consumo de Combustível**

Tabela 36 - Medição de consumo de combustível, B10.

Potência									
	Fase 3		Fase 2		Fase 1				
Carga (kW)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Frequência (Hz)	RPM	Potência de Eixo (kW)
0,0	0,0	220,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,30	1818,0	0,00
1,0	3,5	219,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,30	1818,0	0,77
2,0	0,0	220,0	5,2	210,0	0,0	220,0	30,12	1807,2	1,09
3,0	3,1	216,0	5,5	219,0	0,0	220,0	29,94	1796,4	1,87
4,0	0,0	220,0	4,4	205,0	7,5	209,0	29,94	1796,4	2,47
5,0	2,9	221,0	4,9	215,0	7,6	214,0	29,94	1796,4	3,32
6,0	7,6	222,0	5,3	225,0	7,6	219,0	29,76	1785,6	4,54
7,0	2,7	226,0	5,0	213,0	15,1	202,0	29,76	1785,6	4,73
8,0	7,0	226,0	5,1	224,0	15,3	207,0	29,59	1775,4	5,89
9,0	2,3	223,0	12,0	200,0	15,5	206,0	29,59	1775,4	6,11
10,0	7,1	224,0	12,4	210,0	15,8	211,0	29,59	1775,4	7,53
11,0	11,3	221,0	12,7	216,0	15,9	214,0	29,24	1754,4	8,64

Tabela 37 - Tabela de Emissões para B10.

Emissões				
Carga	CO (% vol.)	COc (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm)
0,0	0,05	0,12	5,8	112
1,0	0,06	0,15	6,8	118
2,0	0,07	0,15	6,8	125
3,0	0,06	0,12	7,3	130
4,0	0,07	0,13	7,6	131
5,0	0,14	0,24	8,2	132
6,0	0,26	0,41	9,1	129
7,0	0,33	0,50	9,4	121
8,0	0,49	0,70	10	115
9,0	0,6	0,85	10,1	120
10,0	0,95	1,20	10,8	123
11,0	1,76	2,02	11,3	130

Tabela 38 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B15.

Potência									
	Fase 3		Fase 2		Fase 1				
Carga (kW)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Frequência (Hz)	RPM	Potência de Eixo (kW)
0,0	0,0	220,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,49	1829,4	0,00
1,0	3,6	219,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,30	1818,0	0,79
2,0	0,0	220,0	0,0	220,0	7,4	206,0	29,59	1775,4	1,52
3,0	3,2	222,0	0,0	220,0	7,3	210,0	29,76	1785,6	2,24
4,0	0,0	220,0	4,6	205,0	7,0	209,0	29,76	1785,6	2,41
5,0	3,3	221,0	4,8	215,0	6,9	214,0	29,94	1796,4	3,24
6,0	7,4	222,0	5,2	225,0	7,2	220,0	29,94	1796,4	4,40
7,0	3,1	226,0	4,9	214,0	14,3	202,0	30,30	1818,0	4,64
8,0	7,6	226,0	5,2	224,0	15,1	207,0	30,86	1851,6	6,01
9,0	3,0	224,0	12,4	200,0	15,3	206,0	29,41	1764,6	6,30
10,0	6,5	224,0	12,8	210,0	15,3	211,0	29,41	1764,6	7,37
11,0	11,2	220,0	13,3	215,0	15,3	213,0	28,90	1734,0	8,58

- **Consumo de Combustível**

Tabela 39 - Medição de consumo de combustível, B15.

Consumo								
Carga	Consumo a cada 15s				Consumo Médio (g/15s)	Consumo Médio (kg/h)	Consumo Específico (g/kWh)	Desvio Padrão (g/15s)
	1	2	3	4				
0,0	4,65	5,73	5,59	5,61	5,395	1,295	-	0,500
1,0	6,62	6,37	6,57	6,54	6,525	1,566	1986,301	0,108
2,0	7,89	6,94	7,33	7,12	7,320	1,757	1152,453	0,412
3,0	8,48	7,71	9,31	7,17	8,168	1,960	873,763	0,932
4,0	8,54	8,42	7,95	8,03	8,235	1,976	821,446	0,289
5,0	9,39	8,62	9,13	8,70	8,960	2,150	664,134	0,364
6,0	11,14	10,53	10,88	10,92	10,868	2,608	593,204	0,252
7,0	11,08	10,27	10,39	10,40	10,535	2,528	545,172	0,368
8,0	13,08	12,04	12,62	12,44	12,545	3,011	501,123	0,431
9,0	13,23	13,06	12,18	12,89	12,840	3,082	488,848	0,461
10,0	15,74	14,98	14,56	15,01	15,073	3,617	490,675	0,490
11,0	18,23	17,3	16,830	17,200	17,390	4,174	486,298	0,595

Tabela 40 - Tabela de Emissões para B15.

Emissões				
Carga	CO (% vol.)	COc (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm)
0,0	0,04	0,1	5,9	123
1,0	0,05	0,1	7	130
2,0	0,07	0,13	7,4	136
3,0	0,09	0,16	8	140
4,0	0,09	0,16	8	138
5,0	0,14	0,24	8,6	139
6,0	0,25	0,37	9,3	137
7,0	0,3	0,45	9,5	134
8,0	0,53	0,74	10,4	126
9,0	0,66	0,88	10,6	119
10,0	1,46	1,72	11,3	120
11,0	2,1	2,25	11,3	133

Tabela 41 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B20.

Potência									
	Fase 3		Fase 2		Fase 1				
Carga (kW)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Frequência (Hz)	RPM	Potência de Eixo (kW)
0,0	0,0	220,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,30	1818,0	0,00
1,0	3,7	219,0	0,0	220,0	0,0	220,0	29,94	1796,4	0,81
2,0	0,0	220,0	0,0	220,0	7,1	205,0	30,30	1818,0	1,46
3,0	3,5	222,0	0,0	220,0	7,1	210,0	30,30	1818,0	2,27
4,0	0,0	220,0	4,7	205,0	7,2	209,0	29,94	1796,4	2,47
5,0	3,2	221,0	5,2	215,0	7,2	213,0	29,94	1796,4	3,36
6,0	7,7	222,0	5,3	225,0	7,3	219,0	29,94	1796,4	4,50
7,0	3,1	226,0	5,0	213,0	14,7	202,0	30,49	1829,4	4,74
8,0	7,7	227,0	5,0	224,0	14,6	208,0	29,59	1775,4	5,90
9,0	3,0	224,0	12,4	200,0	14,7	206,0	29,41	1764,6	6,18
10,0	7,1	224,0	13,1	210,0	15,1	211,0	29,59	1775,4	7,53
11,0	11,4	219,0	12,1	214,0	14,0	213,0	29,07	1744,2	8,07

- **Consumo de Combustível**

Tabela 42 - Medição de consumo de combustível, B20.

Consumo

Carga	Consumo a cada 15s				Consumo Médio (g/15s)	Consumo Médio (kg/h)	Consumo Específico (g/kWh)	Desvio Padrão (g/15s)
	1	2	3	4				
0,0	5,76	5,45	5,39	4,39	5,248	1,259	-	0,594
1,0	5,45	7,35	5,94	6,28	6,255	1,501	1852,647	0,806
2,0	7,04	6,89	5,81	7,86	6,900	1,656	1137,753	0,842
3,0	9,96	7,05	8,36	7,30	8,168	1,960	864,286	1,323
4,0	8,35	6,96	9,56	8,56	8,358	2,006	812,624	1,071
5,0	8,64	9,53	8,99	8,80	8,990	2,158	642,372	0,387
6,0	11,26	8,69	11,86	10,64	10,613	2,547	565,925	1,375
7,0	11,50	10,90	10,85	10,96	11,053	2,653	560,211	0,302
8,0	12,96	12,50	12,23	11,68	12,343	2,962	501,668	0,535
9,0	13,40	11,74	12,38	12,67	12,548	3,011	487,266	0,688
10,0	16,35	14,25	13,71	14,22	14,633	3,512	466,529	1,172
11,0	21,19	17,47	16,430	17,490	18,145	4,355	539,762	2,089

Tabela 43 - Tabela de Emissões para B20.

Emissões

Carga	CO (% vol.)	COc (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm)
0,0	0,03	0,07	5,7	80
1,0	0,03	0,06	6,7	81
2,0	0,04	0,08	7,2	85
3,0	0,05	0,09	7,8	87
4,0	0,06	0,11	7,8	83
5,0	0,07	0,12	8,3	83
6,0	0,13	0,2	9,2	84
7,0	0,19	0,29	9,5	78
8,0	0,37	0,51	10,4	68
9,0	0,40	0,54	10,5	61
10,0	1,00	1,2	11,3	60
11,0	2,20	2,4	11,6	76

Tabela 44 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B25

Potência									
	Fase 3		Fase 2		Fase 1				
Carga (kW)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Frequência (Hz)	RPM	Potência de Eixo (kW)
0,0	0,0	220,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,49	1829,4	0,00
1,0	3,8	220,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,30	1818,0	0,84
2,0	0,0	220,0	0,0	220,0	6,9	206,0	30,12	1807,2	1,42
3,0	3,6	223,0	0,0	220,0	7,1	210,0	30,12	1807,2	2,29
4,0	0,0	220,0	4,8	206,0	6,9	209,0	30,12	1807,2	2,43
5,0	3,4	221,0	4,9	215,0	7,3	214,0	29,94	1796,4	3,37
6,0	8,0	222,0	5,0	225,0	7,5	220,0	29,94	1796,4	4,55
7,0	3,4	227,0	5,0	214,0	14,1	202,0	29,76	1785,6	4,69
8,0	8,0	227,0	5,2	224,0	14,5	207,0	29,76	1785,6	5,98
9,0	3,2	224,0	12,4	200,0	14,8	206,0	29,59	1775,4	6,25
10,0	7,9	224,0	12,8	210,0	15,0	211,0	29,41	1764,6	7,62
11,0	12,1	221,0	13,3	215,0	15,1	213,0	29,24	1754,4	8,75

- **Consumo de Combustível**

Tabela 45- Medição de consumo de combustível, B25.

Consumo								
Carga	Consumo a cada 15s				Consumo Médio (g/15s)	Consumo Médio (kg/h)	Consumo Específico (g/kWh)	Desvio Padrão (g/15s)
	1	2	3	4				
0,0	3,82	3,85	4,42	4,32	4,102	0,985	-	0,312
1,0	7,47	6,94	6,86	6,74	7,003	1,681	2010,287	0,322
2,0	7,88	7,14	6,90	7,94	7,465	1,792	1260,447	0,524
3,0	9,92	7,22	7,29	7,86	8,073	1,937	844,625	1,265
4,0	8,46	8,17	8,74	8,41	8,445	2,027	833,765	0,234
5,0	9,17	8,99	9,45	8,92	9,132	2,192	650,946	0,236
6,0	11,00	10,22	10,58	10,25	10,513	2,523	554,384	0,364
7,0	11,25	10,57	10,70	10,99	10,878	2,611	556,631	0,304
8,0	12,92	12,50	12,46	11,80	12,420	2,981	498,270	0,463
9,0	13,58	12,74	12,70	12,28	12,825	3,078	492,827	0,545
10,0	14,91	14,57	14,28	14,64	14,600	3,504	459,686	0,259
11,0	16,75	15,93	16,03	16,35	16,265	3,904	446,131	0,370

Tabela 46 - Tabela de Emissões para B25.

Emissões				
Carga	CO (% vol.)	COc (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm)
0,0	0,07	0,16	7	66
1,0	0,08	0,16	7,1	66
2,0	0,10	0,19	7,5	76
3,0	0,11	0,21	7,7	89
4,0	0,18	0,31	8,4	97
5,0	0,20	0,35	8,7	105
6,0	0,31	0,48	9,3	107
7,0	0,35	0,5	9,8	108
8,0	0,35	0,53	9,8	111
9,0	0,57	0,77	10,5	112
10,0	0,61	0,79	10,7	116
11,0	1,38	1,63	11,3	130

Tabela 47 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B50

Potência									
	Fase 3		Fase 2		Fase 1				
Carga (kW)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Frequência (Hz)	RPM	Potência de Eixo (kW)
0,0	0,0	220,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,49	1829,4	0,00
1,0	3,2	220,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,12	1807,2	0,70
2,0	0,0	220,0	0,0	220,0	7,5	206,0	29,76	1785,6	1,55
3,0	3,4	223,0	0,0	220,0	7,5	211,0	29,94	1796,4	2,34
4,0	0,0	220,0	4,6	206,0	7,7	210,0	29,76	1785,6	2,56
5,0	2,8	221,0	4,9	216,0	7,9	214,0	29,76	1785,6	3,37
6,0	7,2	223,0	5,2	226,0	7,8	220,0	29,76	1785,6	4,50
7,0	2,8	227,0	4,8	214,0	15,4	203,0	29,41	1764,6	4,79
8,0	7,5	227,0	5,3	225,0	15,4	208,0	29,41	1764,6	6,10
9,0	2,9	225,0	12,6	201,0	16,0	206,0	29,41	1764,6	6,48
10,0	7,2	224,0	13,0	210,0	16,4	211,0	31,45	1887,0	7,80
11,0	11,3	218,0	12,9	213,0	15,1	211,0	29,07	1744,2	8,40

- **Consumo de Combustível**

Tabela 48- Medição de consumo de combustível, B50.

Consumo								
Carga	Consumo a cada 15s				Consumo Médio (g/15s)	Consumo Médio (kg/h)	Consumo Específico (g/kWh)	Desvio Padrão (g/15s)
	1	2	3	4				
0,0	6,70	6,39	6,19	6,75	6,507	1,562	-	0,265
1,0	6,81	7,77	7,19	6,98	7,188	1,725	2450,284	0,418
2,0	8,01	7,87	8,13	7,55	7,890	1,894	1225,631	0,250
3,0	8,78	9,18	7,42	9,06	8,610	2,066	882,813	0,811
4,0	8,37	8,37	8,87	9,57	8,795	2,111	823,052	0,568
5,0	11,42	7,70	9,29	9,96	9,592	2,302	683,592	1,544
6,0	10,98	11,44	11,24	11,72	11,345	2,723	605,497	0,313
7,0	10,88	10,23	12,28	12,76	11,538	2,769	578,200	1,181
8,0	13,52	12,31	11,53	12,63	12,498	2,999	491,850	0,823
9,0	14,17	10,36	15,46	12,02	13,003	3,121	481,492	2,262
10,0	15,45	15,36	14,55	14,46	14,955	3,589	459,965	0,522
11,0	18,41	17,05	17,150	17,350	17,490	4,198	499,881	0,626

Tabela 49 - Tabela de Emissões para B25.

Emissões				
Carga	CO (% vol.)	COc (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm)
0,0	0,05	0,12	5,9	98
1,0	0,05	0,11	6,6	101
2,0	0,06	0,12	7,0	105
3,0	0,06	0,12	6,0	104
4,0	0,07	0,14	7,4	107
5,0	0,09	0,18	8,0	109
6,0	0,15	0,24	8,9	112
7,0	0,17	0,27	9,1	108
8,0	0,26	0,38	9,9	106
9,0	0,36	0,52	10,2	100
10,0	0,69	0,89	11,0	90
11,0	1,09	1,34	11,1	55

Tabela 50 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B75

Potência									
	Fase 3		Fase 2		Fase 1				
Carga (kW)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Frequência (Hz)	RPM	Potência de Eixo (kW)
0,0	0,0	220,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,12	1807,2	0,00
1,0	3,5	219,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,30	1818,0	0,77
2,0	0,0	220,0	0,0	220,0	7,2	206,0	29,94	1796,4	1,48
3,0	3,5	222,0	0,0	220,0	7,4	210,0	29,94	1796,4	2,33
4,0	0,0	220,0	4,7	205,0	7,4	209,0	30,12	1807,2	2,51
5,0	3,2	221,0	4,9	215,0	7,1	214,0	29,76	1785,6	3,28
6,0	7,6	222,0	5,1	225,0	7,5	219,0	29,76	1785,6	4,48
7,0	2,9	226,0	4,9	214,0	14,4	203,0	29,59	1775,4	4,63
8,0	7,7	227,0	5,2	224,0	14,6	208,0	31,06	1863,6	5,95
9,0	2,9	224,0	12,2	200,0	15,0	206,0	31,45	1887,0	6,18
10,0	7,0	223,0	12,8	209,0	15,0	210,0	29,24	1754,4	7,39
11,0	10,0	219,0	12,8	219,0	14,8	212,0	32,47	1948,2	8,13

- **Consumo de Combustível**

Tabela 51- Medição de consumo de combustível, B75.

Consumo								
Carga	Consumo a cada 15s				Consumo Médio (g/15s)	Consumo Médio (kg/h)	Consumo Específico (g/kWh)	Desvio Padrão (g/15s)
	1	2	3	4				
0,0	7,08	6,00	6,27	6,11	6,365	1,528	-	0,489
1,0	7,71	7,50	7,43	4,70	6,835	1,640	2140,117	1,428
2,0	8,70	7,03	7,27	7,47	7,617	1,828	1232,605	0,744
3,0	6,64	8,01	8,91	8,40	7,990	1,918	822,651	0,973
4,0	9,19	9,25	9,36	8,47	9,068	2,176	866,977	0,405
5,0	10,30	10,06	8,93	9,78	9,767	2,344	714,673	0,597
6,0	12,51	11,23	11,33	11,57	11,660	2,798	625,034	0,584
7,0	12,26	10,88	11,74	11,31	11,548	2,771	598,937	0,591
8,0	12,20	12,42	13,39	13,17	12,795	3,071	516,144	0,574
9,0	14,20	13,37	12,88	14,51	13,740	3,298	533,627	0,749
10,0	14,26	14,68	15,37	16,94	15,313	3,675	497,549	1,178
11,0	19,28	17,66	17,69	18,73	18,340	4,402	541,349	0,800

Tabela 52 - Tabela de Emissões para B75.

Emissões				
Carga	CO (% vol.)	COc (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm)
0,0	0,04	0,10	5,6	69
1,0	0,04	0,09	6,6	75
2,0	0,05	0,10	7,0	81
3,0	0,06	0,11	7,5	83
4,0	0,06	0,11	7,5	85
5,0	0,07	0,12	8,1	91
6,0	0,12	0,19	9,0	94
7,0	0,14	0,22	9,1	92
8,0	0,24	0,35	10,0	90
9,0	0,31	0,43	10,3	80
10,0	0,70	0,88	11,2	73
11,0	1,63	1,84	11,6	83

Tabela 53 - Potência de Eixo em diferentes cargas para o combustível B100

Potência									
	Fase 3		Fase 2		Fase 1				
Carga (kW)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Corrente (A)	D.D.P (V)	Frequência (Hz)	RPM	Potência de Eixo (kW)
0,0	0,0	220,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,12	1807,2	0,00
1,0	3,5	219,0	0,0	220,0	0,0	220,0	30,30	1818,0	0,77
2,0	0,0	220,0	0,0	220,0	7,2	206,0	29,94	1796,4	1,48
3,0	3,5	222,0	0,0	220,0	7,4	210,0	29,94	1796,4	2,33
4,0	0,0	220,0	4,7	205,0	7,4	209,0	30,12	1807,2	2,51
5,0	3,2	221,0	4,9	215,0	7,1	214,0	29,76	1785,6	3,28
6,0	7,6	222,0	5,1	225,0	7,5	219,0	29,76	1785,6	4,48
7,0	2,9	226,0	4,9	214,0	14,4	203,0	29,59	1775,4	4,63
8,0	7,7	227,0	5,2	224,0	14,6	208,0	31,06	1863,6	5,95
9,0	2,9	224,0	12,2	200,0	15,0	206,0	31,45	1887,0	6,18
10,0	7,0	223,0	12,8	209,0	15,0	210,0	29,24	1754,4	7,39
11,0	10,0	219,0	12,8	219,0	14,8	212,0	32,47	1948,2	8,13

- **Consumo de Combustível**

Tabela 54- Medição de consumo de combustível, B100.

Consumo

Carga	Consumo a cada 15s				Consumo Médio (g/15s)	Consumo Médio (kg/h)	Consumo Específico (g/kWh)	Desvio Padrão (g/15s)
	1	2	3	4				
0,0	6,28	5,13	4,13	3,65	4,798	1,151	-	1,165
1,0	6,23	8,12	7,87	6,16	7,095	1,703	2221,526	1,045
2,0	8,99	8,15	7,54	7,80	8,120	1,949	1313,916	0,632
3,0	10,13	6,79	11,59	8,65	9,290	2,230	956,499	2,054
4,0	9,08	10,16	9,42	9,14	9,450	2,268	903,550	0,496
5,0	12,22	9,74	7,53	10,93	10,105	2,425	739,368	1,993
6,0	10,31	10,85	12,01	13,08	11,563	2,775	619,807	1,236
7,0	14,05	12,38	14,66	13,87	13,740	3,298	712,656	0,968
8,0	13,67	14,11	14,67	13,61	14,015	3,364	565,358	0,490
9,0	13,46	14,22	14,88	13,57	14,033	3,368	544,987	0,657
10,0	17,05	16,65	15,29	16,12	16,278	3,907	528,905	0,761
11,0	19,76	18,82	18,780	19,030	19,098	4,583	563,708	0,455

Tabela 55 - Tabela de Emissões para B100.

Emissões

Carga	CO (% vol.)	COc (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm)
0,0	0,04	0,10	5,6	76
1,0	0,04	0,09	6,5	85
2,0	0,05	0,10	6,8	88
3,0	0,05	0,10	7,2	90
4,0	0,05	0,10	7,3	93
5,0	0,07	0,11	8,0	99
6,0	0,09	0,15	8,8	106
7,0	0,10	0,16	9,0	108
8,0	0,20	0,29	10,0	109
9,0	0,24	0,34	10,1	105
10,0	0,66	0,84	11,1	95
11,0	1,47	1,68	11,6	99

13.3 APÊNDICE 3: TABELAS DE CALCULO PARA RENDIMENTO MECÂNICO DE CADA COMBUSTÍVEIS

Tabela 56 - Tabela de cálculo para o rendimento mecânico

B0				
Carga (kW)	Potência Indicada (kW)	Pot. de Eixo (kW)	Pot. de Atrito (kW)	Rendimento Mecânico (%)
0,0	5,81	0,00	5,81	0,00
1,0	6,58	0,77		11,69
2,0	7,43	1,61		21,73
3,0	8,04	2,22		27,65
4,0	8,39	2,57		30,68
5,0	9,14	3,32		36,36
6,0	10,23	4,42		43,18
7,0	11,31	5,49		48,58
8,0	11,67	5,86		50,18
9,0	11,91	6,10		51,19
10,0	13,32	7,50		56,34
11,0	14,19	8,38		59,03

B5 C.				
Carga (kW)	Potência Indicada (kW)	Pot. de Eixo (kW)	Pot. de Atrito (kW)	Rendimento Mecânico (%)
0,0	5,21	0,00	5,21	0,0
1,0	5,96	0,74		12,5
2,0	6,88	1,66		24,2
3,0	7,61	2,40		31,5
4,0	7,86	2,64		33,6
5,0	8,60	3,39		39,4
6,0	9,81	4,60		46,8
7,0	10,95	5,74		52,4
8,0	11,26	6,05		53,7
9,0	11,51	6,30		54,7
10,0	12,87	7,65		59,5
11,0	14,17	8,96		63,2

B5				
Carga (kW)	Potência Indicada (kW)	Pot. de Eixo (kW)	Pot. de Atrito (kW)	Rendimento Mecânico (%)
0,0	5,38	0,00	5,38	0,00
1,0	6,18	0,80		12,94
2,0	6,84	1,46		21,38
3,0	7,69	2,31		30,02
4,0	7,91	2,53		32,00
5,0	8,72	3,34		38,33
6,0	9,83	4,46		45,30
7,0	10,10	4,72		46,74
8,0	11,41	6,03		52,85
9,0	11,46	6,09		53,08
10,0	12,86	7,48		58,17
11,0	13,70	8,32		60,74

B10				
Carga (kW)	Potência Indicada (kW)	Pot. de Eixo (kW)	Pot. de Atrito (kW)	Rendimento Mecânico (%)
0,0	3,79	0,00	3,79	0,00
1,0	4,56	0,77		16,81
2,0	4,89	1,09		22,35
3,0	5,67	1,87		33,06
4,0	6,26	2,47		39,43
5,0	7,11	3,32		46,67
6,0	8,34	4,54		54,50
7,0	8,52	4,73		55,47
8,0	9,69	5,89		60,83
9,0	9,90	6,11		61,68
10,0	11,32	7,53		66,49
11,0	12,44	8,64		69,49

B15				
Carga (kW)	Potência Indicada (kW)	Pot. de Eixo (kW)	Pot. de Atrito (kW)	Rendimento Mecânico (%)
0,0	5,75	0,00	5,75	0,00
1,0	6,53	0,79		12,06
2,0	7,27	1,52		20,97
3,0	7,99	2,24		28,08
4,0	8,15	2,41		29,51
5,0	8,98	3,24		36,04
6,0	10,14	4,40		43,35
7,0	10,38	4,64		44,66
8,0	11,75	6,01		51,11
9,0	12,05	6,30		52,31
10,0	13,12	7,37		56,20
11,0	14,33	8,58		59,90

B20				
Carga (kW)	Potência Indicada (kW)	Pot. de Eixo (kW)	Pot. de Atrito (kW)	Rendimento Mecânico (%)
0,0	4,76	0,00	4,76	0,00
1,0	5,57	0,81		14,55
2,0	6,21	1,46		23,42
3,0	7,03	2,27		32,27
4,0	7,23	2,47		34,15
5,0	8,12	3,36		41,37
6,0	9,26	4,50		48,60
7,0	9,49	4,74		49,87
8,0	10,66	5,90		55,37
9,0	10,94	6,18		56,49
10,0	12,29	7,53		61,27
11,0	12,83	8,07		62,90

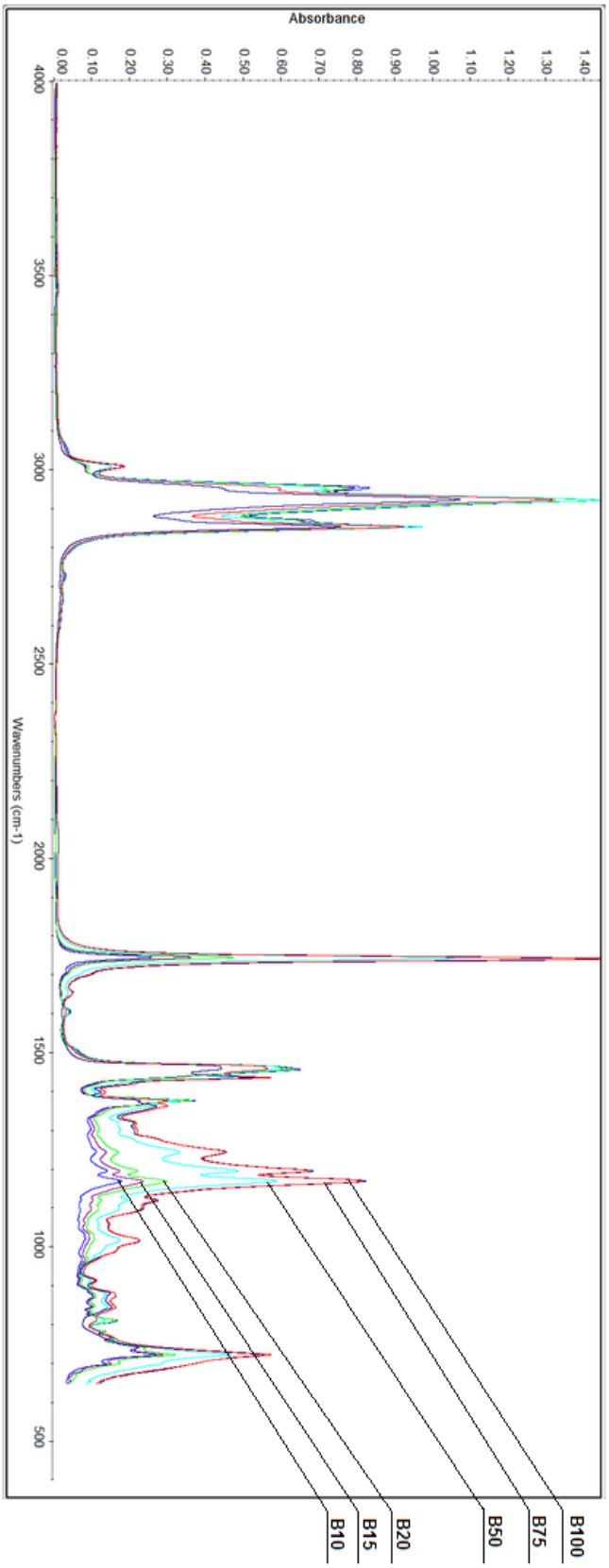
B25				
Carga (kW)	Potência Indicada (kW)	Pot. de Eixo (kW)	Pot. de Atrito (kW)	Rendimento Mecânico (%)
0,0	7,40	0,00	7,40	0,00
1,0	8,21	0,81		9,87
2,0	8,86	1,46		16,43
3,0	9,67	2,27		23,45
4,0	9,87	2,47		25,01
5,0	10,76	3,36		31,21
6,0	11,90	4,50		37,81
7,0	12,14	4,74		39,01
8,0	13,31	5,90		44,37
9,0	13,58	6,18		45,50
10,0	14,93	7,53		50,42
11,0	15,47	8,07		52,15

B50				
Carga (kW)	Potência Indicada (kW)	Pot. de Eixo (kW)	Pot. de Atrito (kW)	Rendimento Mecânico (%)
0,0	7,25	0,00	7,25	0,00
1,0	7,96	0,70		8,85
2,0	8,80	1,55		17,56
3,0	9,59	2,34		24,40
4,0	9,82	2,56		26,12
5,0	10,62	3,37		31,71
6,0	11,75	4,50		38,27
7,0	12,04	4,79		39,77
8,0	13,35	6,10		45,68
9,0	13,73	6,48		47,19
10,0	15,06	7,80		51,83
11,0	15,65	8,40		53,66

B75				
Carga (kW)	Potência Indicada (kW)	Pot. de Eixo (kW)	Pot. de Atrito (kW)	Rendimento Mecânico (%)
0,0	5,09	0,00	5,09	0,00
1,0	5,86	0,77		13,09
2,0	6,57	1,48		22,57
3,0	7,42	2,33		31,42
4,0	7,60	2,51		33,03
5,0	8,37	3,28		39,19
6,0	9,57	4,48		46,80
7,0	9,72	4,63		47,62
8,0	11,04	5,95		53,90
9,0	11,27	6,18		54,84
10,0	12,48	7,39		59,21
11,0	13,22	8,13		61,50

B100				
Carga (kW)	Potência Indicada (kW)	Pot. de Eixo (kW)	Pot. de Atrito (kW)	Rendimento Mecânico (%)
0,0	5,12	0,00	5,12	0,00
1,0	5,89	0,77		13,01
2,0	6,61	1,48		22,45
3,0	7,46	2,33		31,27
4,0	7,63	2,51		32,88
5,0	8,40	3,28		39,03
6,0	9,60	4,48		46,63
7,0	9,75	4,63		47,45
8,0	11,07	5,95		53,73
9,0	11,30	6,18		54,67
10,0	12,51	7,39		59,04
11,0	13,25	8,13		61,34

13.4 APENDICE 4: DEMOSTRATIVO DE ESPECTROS CARCTERÍSTICOS DE MISTURAS (DIESEL E BIODIESEL) E BIODIESEL PURO



14. ANEXO

14.1 ADITIVOS

O óleo diesel é um combustível pesado, com alto teor de carbono, o que acarreta problemas no motor e na emissão de poluentes. Para reduzir estes efeitos, geralmente é adicionado ao diesel aditivos que, principalmente, elevam o número de cetano, aumentando assim a qualidade de ignição do motor (mesmo em baixas temperaturas), melhorando a lubricidade e a estabilidade, com isto há uma redução das emissões gasosas, diminuição de consumo de combustível e redução do barulho do motor, com melhora do desempenho (Caetano & R.S., 2003), tais como os detergentes amínicos, dispersantes poliméricos, desativadores de metais, desmulsificantes, aceleradores de ignição, antiestáticos, supressores de fumaça, antioxidantes e biocidas, sendo a função dos dois últimos de manter a qualidade do diesel durante o transporte e estocagem (Lemaire, Mustela, & Zelenca, 1994).

A seguir são apresentadas algumas propriedades desejáveis de aditivos no diesel:

- Manter limpo a bomba e seus injetores, permitindo uma pulverização correta do diesel na câmara de combustão;
- Proteção à corrosão e oxidação do diesel;
- Separar a água oriunda da umidade do ar;
- Reduz a espuma no ato do abastecimento.

Os aditivos que poderão ser utilizados em propostas futuras são o antioxidante: Pyrogallol P.A - (P.A. Pureza analítica), o depressor de ponto de congelamento: Liovac 415 - Miracema Nuodex e o biocida: Predator – Innospec;