



# **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**Efeitos da injeção de água na performance e característica de emissões em motores diesel de injeção direta utilizando misturas diesel-biodiesel.**

Por,  
**Lauro de Oliveira Júnior**

Brasília, 10 de julho de 2013

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

## PROJETO DE GRADUAÇÃO

# **Análise dos efeitos da injeção de água na performance e característica de emissões em motores diesel de injeção direta utilizando misturas diesel-biodiesel.**

POR,

**Lauro de Oliveira Júnior**

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

### **Banca Examinadora**

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

---

Prof. Mario Benjamim Baptista de Siqueira, UnB/  
ENM (Co-orientador)

---

Prof. Francisco Faggion UnB/FAV (Co-orientador)

---

Brasília, 10 de Julho de 2013

### **Dedicatória(s)**

*Dedico esse trabalho a minha família que me apoiou sem medir esforços para que este sonho pudesse ser concretizado. E a Deus, por me dar forças para sempre seguir em frente.*

*Lauro de Oliveira Júnior*

## **Agradecimentos**

*Gostaria de agradecer aos meus pais, Lauro e Donizetti; minha irmã, Luciana; minha namorada Raphaela; pela ajuda que me deram, direta e indiretamente para a realização deste sonho.*

*Queria agradecer aos meus companheiros de teste Saci e Leo (Wellington e Leonardo), pois sem eles não conseguiria sozinho, aos técnicos do SG-9 e do Bloco G, principalmente ao Mestre Eurípedes, Felipe e Pereira, e as amigas que fiz durante essa etapa de minha vida, que certamente, muitas permanecerão para a vida inteira.*

*Agradeço também aos meus orientadores e professores, principalmente a professora Maria del Pilar, e os professores Mario Siqueira e Francisco Faggion, que me ensinaram muito do que sei hoje.*

*Lauro de Oliveira Júnior*

---

## RESUMO

Observando os níveis de emissões de poluentes por gases de exaustão de veículos automotores cada vez mais restritos e o crescente incentivo governamental para o uso de energias renováveis, o biodiesel vem se destacando para cumprir tal propósito, de reduzir emissões sendo um biocombustível. Porém, estudos mostram que as emissões de NOx aumentam com o seu uso. Este projeto propõe um método de redução deste gás utilizando um elemento abundante e de baixo custo, a água, observando também os parâmetros de desempenho do motor. Este método consiste em fazer a injeção de água em forma de névoa no coletor de admissão dos motores de ignição por compressão. Os testes demonstraram a eficácia da água para tal propósito em uma faixa entre 0,15 a 1,15 kg/h.

---

## ABSTRACT

Observing the levels of pollutant emissions by exhaust gases from vehicles engines increasingly restricted and increasing government incentives for use of renewable energy, biodiesel has been highlighted to meet that purpose, to reduce emissions being a biofuel. However, studies show that NOx emissions increase with its use. This project proposes a method for reducing this gas using an element of this abundant and inexpensive, water, also observing the performance parameters. This method consists of injecting water in mist form in the intake manifold of the engine ignition. The tests demonstrated the efficacy of water for this purpose in a range of 0.15 to 1.15 kg/h.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	EMISSIONES DE POLUENTES	1
1.2	PLANO NACIONAL DE ENERGIA	3
1.3	OBJETIVO DO TRABALHO	4
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>5</b>
2.1	MOTORES DIESEL	5
2.2	BIODIESEL	8
2.3	POLUENTES EMITIDOS	11
2.4	FORMAÇÃO DE NO <sub>x</sub>	13
2.5	CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA NA COMBUSTÃO	15
2.6	SISTEMAS DE INJEÇÃO DE ÁGUA – PERFORMANCE E EMISSIONES	16
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>21</b>
3.1	MÉTODO DE ENSAIO DO MOTOR	21
3.2	MÉTODO DE INJEÇÃO DE ÁGUA	22
3.3	PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS B5 E B20	23
3.4	CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	25
3.4.1	Moto - gerador	25
3.4.2	Bancada de resistência	27
3.4.3	Injetor de água	27
3.5	SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS	29
3.5.1	Multímetro	29
3.5.2	Consumo de combustível	29
3.5.3	Temperatura de exaustão	30
3.5.4	Avaliação de gases de exaustão	30
3.5.5	Osciloscópio	31
3.6	CÁLCULO DO CONSUMO ESPECÍFICO	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>32</b>
4.1	AVALIAÇÃO DOS BIOCUMBUSTÍVEIS	32
4.2	PARÂMETROS DE DESEMPENHO	32
4.2.1	Consumo específico	32
4.2.2	Rotação	35
4.2.3	Temperatura de exaustão	36
4.3	EMISSIONES	36
4.3.1	Hidrocarbonetos	36
4.3.2	Monóxido de carbono	37
4.3.3	Dióxido de carbono	38
4.3.4	Oxidos de nitrogênio	38
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>Apêndice</b>	<b>46</b>
7.1	PERFORMANCE	46
7.2	EMISSIONES	47
7.3	QUANTIDADE DE ÁGUA	47
7.4	CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	48
<b>8</b>	<b>ANEXO</b>	<b>49</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Gráfico emissões de CO por categoria de veículo.....	1
Figura 1.2 - Gráfico emissões estimadas de NOx por categoria de veículo.....	2
Figura 1.3 - Gráfico emissões estimadas de Material Particulado por categoria de veículo.....	2
Figura 2.1 - Ciclo diesel teórico. ....	5
Figura 2.2 - Ciclo diesel real .....	6
Figura 2.3 - Esquema do processo de combustão no motor diesel .....	8
Figura 2.4 - Reação de transesterificação.....	9
Figura 2.5 - Processo de obtenção de biodiesel a partir de transesterificação metálica do óleo residual de fritura .....	10
Figura 2.6 - Formação de particulados em motores diesel.....	13
Figura 2.7 - Formação de NOx em motores diesel .....	14
Figura 2.8 - Comparação entre calor liberado e temperatura utilizando emulsão água-diesel.. .....	15
Figura 2.9 - Sistema de injeção de água (1) Injeção de água no coletor de ar (2) Sistema com duas bombas e dois injetores (3) Sistema com duas bombas e um injetor.....	16
Figura 2.10 - Gráfico comparação dos três sistemas de injeção de água. Quadrado = injeção de água no coletor de ar; Triângulo = sistema com duas bombas e dois injetores; Círculo = Sistema com duas bombas e um injetor .....	17
Figura 2.11- Consumo específico de combustível em diferentes cargas .....	19
Figura 2.12 - Emissões de NOx e porcentagem de reduções .....	19
Figura 2.13 - Gráfico razão do calor liberado em diferentes cargas .....	20
Figura 3.1 - Recipiente de coleta de gases e espectrômetro.....	21
Figura 3.2 - Esquema de montagem do ensaio sem injeção de água .....	22
Figura 3.3– Montagem bico nebulizador .....	22
Figura 3.4 - Esquema método de injeção de água.....	23
Figura 3.5 – Bancada para produção manual de biodiesel.....	24
Figura 3.6 - Espectrofotômetro Nicolet iS10 e <i>Software</i> OMNIC .....	24
Figura 3.7 - Equipamentos utilizados:(1) Moto-gerador (2) Caixa comando do moto-gerador (3) Multímetro (4) Resistência dissipadora (5) Quadro comando das cargas (6) Balança de precisão (7) Analisador de gases (8) Espectrômetro (9) Compressor (10) Bomba de água e bico nebulizador.....	25
Figura 3.8 - Medidor de pulso e osciloscópio .....	26
Figura 3.9 – Bomba de água pressurizada.....	28
Figura 3.10 – Leitor e termopar tipo K .....	30
Figura 3.11 – Célula de análise de gases.....	31
Figura 4.1 – Espectros de amostras de diesel-biodiesel e B100 .....	32
Figura 4.2 - Gráfico Potência pelo Consumo médio (B5).....	33
Figura 4.3 – Potência de eixo pelo consumo específico (B5) .....	33
Figura 4.4 – Gráfico potência de eixo por consumo específico (B20).....	34
Figura 4.5 – Gráfico potência de eixo por rotações por minuto.....	35
Figura 4.6 – Gráfico de potência de eixo por temperatura de exaustão .....	36
Figura 4.7 – Potência de eixo por emissão de hidrocarbonetos utilizando B5.....	37
Figura 4.8 – Gráfico Potência de eixo por emissões de monóxido de carbono utilizando B5.	37
Figura 4.9 – Gráfico de potência de eixo por emissões de CO <sub>2</sub> utilizando B5 .....	38
Figura 4.10 – Espectro dos gases gerados pela reação química para obtenção de nanopartículas segundo <i>Pechini's Method</i> .....	39
Figura 4.11 – Espectro das amostras de 1kW de potência .....	39
Figura 4.12– Ampliação do Espectro 1kW na banda de intensidade dos gases NOx.....	40

Figura 4.13 – Ampliação do espectro 6kW na banda de intensidade dos gases NOx .....	40
Figura 4.14 – Ampliação do espectro 11kW na banda de intensidade dos gases NOx .....	41
Figura 4.15 – Espectro de comparação entre B5 e B20 .....	42



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Limites de emissões EURO VI para motores a ignição por compressão.....	3
Tabela 1.2 - Projeção do consumo de diesel, produção e percentual de biodiesel.....	4
Tabela 2.1 - Média dos resultados obtidos no ensaio de emissões de 13 pontos .....	10
Tabela 2.2 - Comparação de resultados do sistema de injeção de água no coletor de admissão .....	18
Tabela 3.1- Misturas diesel - biodiesel.....	25
Tabela 4.1 – Consumo específico B5 e B20 .....	35
Tabela 4.2 – Quantidade de água injetada.....	41
Tabela 7.1- Características de performance .....	46
Tabela 7.2 – Emissões características do ensaio .....	47
Tabela 7.3 – Quantidade de água injetada em função do consumo .....	47
Tabela 8.1 - Características físico-químicas do diesel (B5) e biodiesel de soja (B100).....	49

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Latinos

$C_p$	Calor específico a pressão constante	[kJ/kg.K]
$C_v$	Calor específico a volume constante	[kJ/kg.K]
$I$	Corrente elétrica	[A]
$\dot{m}_d$	Vazão mássica de combustível	[kg/h]
$N$	Número de cilindros	
$p$	Pressão	[kPa]
$P_b$	Potência de eixo	[kW]
$q$	Calor	[J]
$U$	Tensão elétrica	[V]
$v$	Volume	[m <sup>3</sup> ]
$W$	Trabalho	[J]

## Símbolos Gregos

$\eta$	Eficiência
--------	------------

## Sobrescritos

•	Variação temporal
---	-------------------

## Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
B0	Diesel puro
B100	Biodiesel puro
B20	Mistura de 20% de Biodiesel ao Diesel puro
B5	Mistura de 5% de Biodiesel ao Diesel puro
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DI	Direct Injection (Injeção Direta)
EGR	Exhaust Gas Recirculation (Recirculação de gases de exaustão)
FGA	Faculdade UnB Gama
H <sub>2</sub>	Hidrogênio
HC	Hidrocarbonetos
IDI	Indirect Injection (Injeção Indireta)
KBr	Brometo de Potássio
KOH	Hidróxido de Potássio
MP	Material Particulado
NaOH	Hidróxido de Sódio
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrogênio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrogênio

O	Oxigênio
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
PN	Número de Partículas
PNE	Plano Nacional de Energia
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PSI	Pounds of Square Inch (Libras por Polegadas Quadrada)
SFC	Specific Fuel Consumption (Consumo específico de Combustível)
UE	União Europeia

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 EMISSÕES DE POLUENTES

No Brasil, em 1996, foi criado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Este programa baseou-se na experiência internacional para adequar os índices à realidade brasileira e tem como principal meta a redução da contaminação atmosférica pelas fontes móveis, tais como, veículos automotores, por meio da fixação dos limites máximos de emissão, induzindo o desenvolvimento tecnológico dos fabricantes e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos (Manual PROCONVE, 2011).

Este controle de emissões foi escalonado em fases, assemelhando-se com a regulamentação europeia, tanto em forma como em valores. Nestas fases os veículos são divididos em categorias, sendo elas classificadas pelo peso transportado e número de passageiros.

A partir destas categorias, cada fase estabelece seus limites de emissão. As fases para veículos leves com massa total até 3.856 Kg e até 12 passageiros seguem com a letra inicial “L” e os veículos pesados com massa total acima de 3.856 Kg iniciam com a letra “P”.

O programa para veículos leves foi criado em 1988 com a fase L-1 e estando prevista para encontrar-se na fase L-7 em 1º de Janeiro de 2013, baseando-se na EURO V Europeia. Para veículos pesados iniciou-se em 1993 com a fase P-1 e já se encontra na fase P-7 (iniciada em 1º de Janeiro de 2012), baseando-se na EURO V. Conforme os gráficos a seguir, houve uma redução de 97% de gases poluentes emitidos (Manual PROCONVE, 2011).

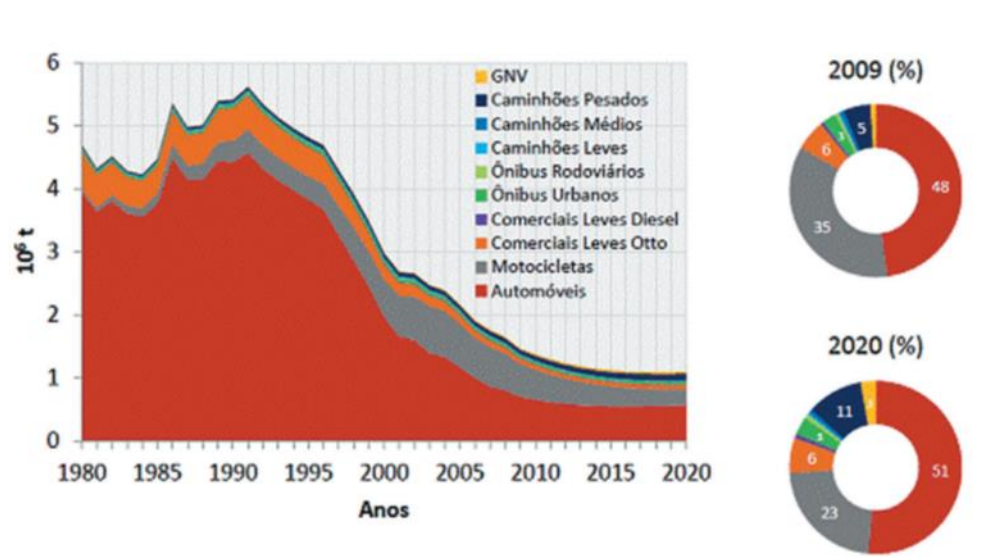


Figura 1.1 - Gráfico emissões de CO por categoria de veículo

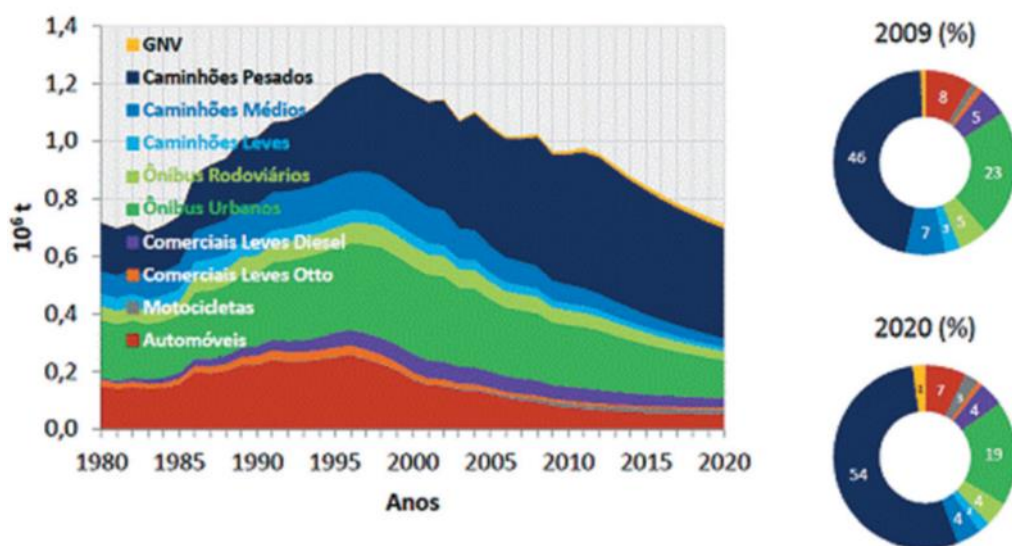


Figura 1.2 - Gráfico emissões estimadas de NOx por categoria de veículo

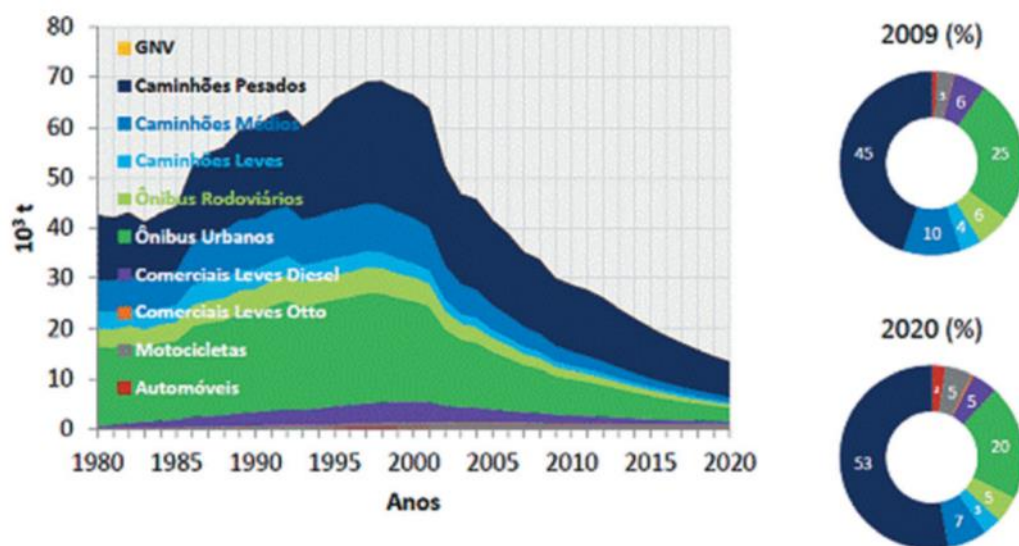


Figura 1.3 - Gráfico emissões estimadas de Material Particulado por categoria de veículo

O PROCONVE necessita de contínua atualização devido à necessidade de evolução em função da atualização das tecnologias, bem como da sua inserção no cenário mundial.

A parceria com novas instituições também é uma necessidade, pois a produção e a importação de veículos automotores têm aumentado significativamente em função do crescimento econômico no qual o país se encontra (Manual PROCONVE, 2011).

Uma vez que as Regulamentações Brasileiras seguem as do Parlamento e Conselho Europeu, é importante a continuidade da redução dos gases emitidos por veículos. Foi criado em 2007, na Europa juntamente com a fase EURO V, a EURO VI, que entrará em vigor em 2014 no continente Europeu e tem como objetivo reduzir ainda mais as emissões dos principais poluentes.

Seguindo as fases dos programas, o Brasil deverá também atender aos limites impostos pela EURO VI, apresentada na tabela a seguir.

Tabela 1.1 - Limites de emissões EURO VI para motores a ignição por compressão (Reg. UE nº 459;2012)

		Massa de referência	Valores limites				
			Massa de monóxido de carbono (CO)	Massa de óxidos de azoto (NOx)	Massa combinada de hidrocarboneto e óxido de azoto (THC + NOx)	Massa de partículas (PM)	Número de partículas (PN)
Categoria	Classe	(kg)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(#/km)
M <sup>(1)</sup>	-	Todas	500	80	170	4,5	6,0x10 <sup>11</sup>
N1 <sup>(2)</sup>	I	RM ≤ 1.305	500	80	170	4,5	6,0x10 <sup>11</sup>
	II	1.305 ≤ RM ≤ 1.760	630	105	195	4,5	6,0x10 <sup>11</sup>
	III	1.760 ≤ RM	740	125	215	4,5	6,0x10 <sup>11</sup>
N2 <sup>(3)</sup>	-	Todas	740	125	215	4,5	6,0x10 <sup>11</sup>

<sup>(1)</sup> M – Veículos de passageiros. <sup>(2)</sup> N1 - Veículos de mercadoria com peso bruto não superior a 3,5 toneladas. <sup>(3)</sup> N2 – Veículos de mercadoria com peso bruto superior a 3,5t e não superior a 12t.

## 1.2 PLANO NACIONAL DE ENERGIA

O Plano Nacional de Energia – PNE 2030 tem como objetivo o planejamento de longo prazo do setor energético do Brasil, orientando tendências e balizando as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas.

No Brasil, as alternativas para a produção de óleos vegetais são diversas, o que constitui um dos grandes diferenciais para a estruturação de uma agroindústria de produção e uso do biodiesel. Por se tratar de um país tropical, com dimensões continentais, o desafio colocado é o do aproveitamento das potencialidades regionais.

Isso é válido tanto para culturas já tradicionais, como soja, amendoim, girassol, mamona e dendê, quanto para alternativas novas tais como pinhão manso, nabo forrageiro, pequi, buriti, macaúba e uma grande variedade de oleaginosas a serem exploradas (EMPRABA/ MAPA, 2005).

Na tabela 2, são apresentados as projeções de valores de produção e consumo de biodiesel no período considerado. Pode-se observar que a produção de biodiesel, ainda incipiente em 2005, aumenta em cerca de 100 vezes até 2030, atingindo, 16,4 milhões de m<sup>3</sup>. A partir de 2010, o crescimento ocorre a taxas baixas, sendo que o crescimento médio anual previsto para o período entre 2005 e 2030 é de 20,3% ao ano.

Tabela 1.2 - Projeção do consumo de diesel, produção e percentual de biodiesel (PNE,2007)

Ano	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Demanda total de diesel (mil ton)	35.901	41.878	49.698	56.837	67.405	80.146
Produção de biodiesel (mil ton)	139	2.095	2.988	3.987	6.714	9.644
Proporção de biodiesel (%)	0,4	5,0	6,0	7,0	10,0	12,0

Analisando o crescente incentivo para energias renováveis, e o aumento significativo da produção de biodiesel, faz-se necessário cada vez mais estudos sobre este biocombustível.

### 1.3 OBJETIVO DO TRABALHO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da injeção de água em um motor diesel utilizando misturas de biodiesel, na performance e emissões de gases poluentes.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 MOTORES DIESEL

- Aspectos gerais

Os motores Diesel são tipos mais utilizados de motores de ignição por compressão. Criado por Rudolph Diesel em 1892, o ciclo Diesel é semelhante ao ciclo Otto, com exceção da alta razão de compressão, que lhe proporciona uma maior eficiência térmica, e o fato de aspirar o ar puro, sem a mistura de combustível. Sua injeção de combustível líquido é feita a volume constante por uma bomba de alta pressão, que pulverizá-lo no interior da câmara de combustão (Obert, 1950).

- Ciclo diesel

O motor Diesel, por ser um motor de quatro tempos, possui o ciclo de combustão parecido com o do ciclo Otto. De acordo com a figura 2.1 um ciclo Diesel teórico, que possui as seguintes fases:

- 1 – 2 Compressão isentrópica;
- 2 – 3 Adição de calor à pressão constante enquanto o volume expande;
- 3 – 4 Expansão isentrópica;
- 4 – 1 Rejeição de calor a volume constante.

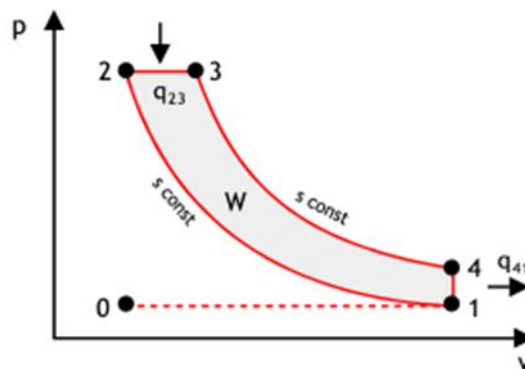


Figura 2.1 - Ciclo diesel teórico. (mspc.eng.br)

Porém, esse ciclo quando visto na prática possui algumas deficiências como pode-se ver no ciclo real a seguir (Fig. 2.2).



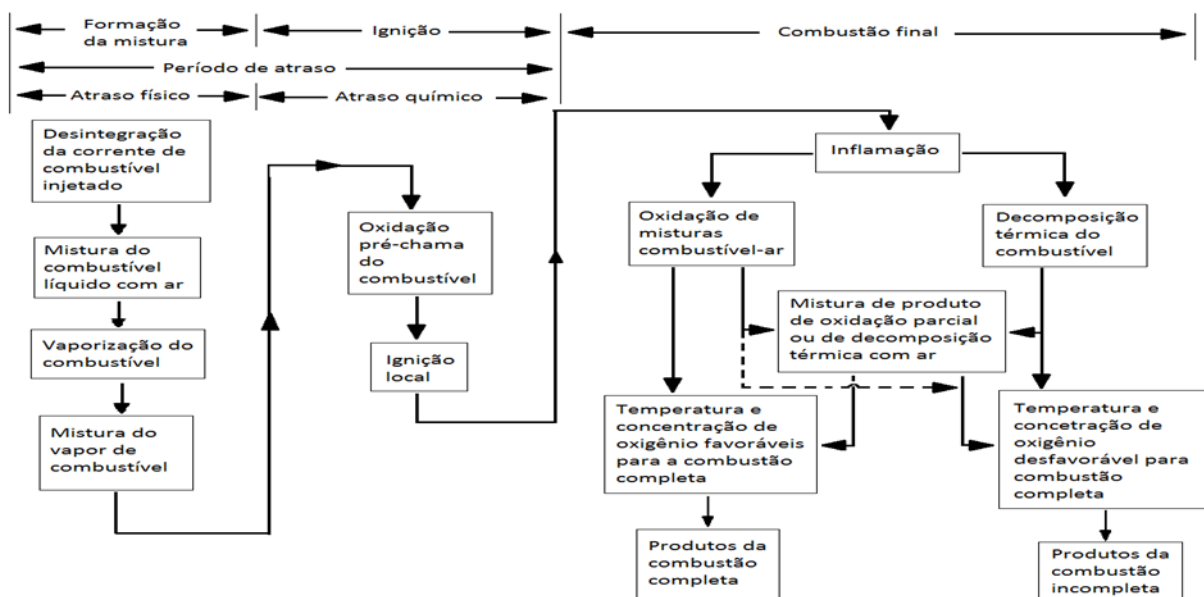


- Combustão

O funcionamento dos motores diesel difere dos motores do ciclo Otto pelo fato de não precisarem de uma centelha primária para que ocorra a ignição. Na combustão dos motores Diesel descritos por TAYLOR, 1894, o ar diluído por uma pequena fração de gás residual, é comprimido até uma relação de volume de 12 a 22, e o combustível, líquido é borrifado no cilindro próximo ao ponto morto superior do pistão. Com a pressão e a temperatura dos gases contidos no interior do cilindro muito elevadas, no momento da injeção do combustível algumas reações químicas já começam a ocorrer, porém de forma lenta, antes que apareça uma chama visível ou aumento de pressão mensurável, este período é chamado de período de atraso ou atraso de ignição. Este período pode ser dividido em duas etapas, na primeira, o atraso físico, o jato de combustível se desintegra em um núcleo de combustível cercado por um envelope vaporizado de combustível e ar, que é criado tanto pela atomização e evaporação do combustível como pela turbulência do ar na câmara de combustão, e na segunda, o atraso químico, a reação começa lentamente e acelera até que se verifica a inflamação ou ignição (OBERT, 1971).

Ainda de acordo com o mesmo autor, devido a elevada razão de compressão, os gases do cilindro, no instante da injeção, estão a temperatura e pressão acima das necessárias para suportar as reações em cadeia da mistura combustível-ar, com isso, a ignição não necessita de transferência de energia de outras partes. Porém, ela ocorre quando as circunstâncias locais de temperatura, pressão e mistura combustível-ar tornarem possível a combustão. Com isso, vale ressaltar o fato da combustão depender das condições locais em cada parcela de carga e não do espalhamento da chama de um ponto para outro, ainda que possa ser ajudado por esse espalhamento. Logo, a taxa de combustão é afetada pelo estado e distribuição do combustível, bem como pela pressão e temperatura na câmara.

Pode-se verificar no esquema abaixo o processo de combustão nos motores Diesel (Fig. 2.3).



## 2.2 BIODIESEL

O biodiesel destaca-se entre as fontes renováveis de energia apontadas como solução para aumentar a segurança no suprimento de energia e minimizar alguns problemas ambientais decorrentes do uso de combustíveis derivados do petróleo.

O biocombustível é o combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. O biodiesel é um biocombustível para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão (LEI.Nº.11.097, 2005).

A partir de 1º de janeiro de 2010, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil passou a conter 5% de biodiesel, norma estabelecida pela resolução nº 6/2009 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), onde aumentou de 2% 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 (ANP, 2011).

De acordo com o programa Bióleo, a obtenção de biodiesel é basicamente feita a partir do óleo vegetal in natura (soja e milho), o que tem conduzido a profundas discussões a nível mundial, por contrapor-se a fatores sócio-econômicos, já que o destino mais frequente destes tipos de óleos é para a alimentação humana. Este fato tem induzido a procurar alternativas mais simples na obtenção de matéria prima para a fabricação de biodiesel, assim o óleo vegetal de fritura representa uma alternativa viável e de baixo custo, o que atenuaria o impacto ambiental e ajudaria a inclusão social de setores mais desfavorecidos economicamente. No Brasil, estima-se que o resíduo de óleo de fritura está em uma faixa entre 1,5 a 2 bilhões de L/ano (Instituto PNBE, 2008).

- Obtenção do biodiesel

O biodiesel é constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente. (PARENTE, 2003).

A produção desse óleo biocombustível pode ser por craqueamento, onde o óleo é fracionado por destilação, ou pelo processo de transesterificação, consistindo como o processo mais comum. O processo de transesterificação consiste em uma reação química do óleo vegetal ou gordura com um álcool, na presença de um catalisador (DANESI e ALMEIDA JR., 2005). A reação de transesterificação do óleo de fritura é mostrada na figura 2.4.

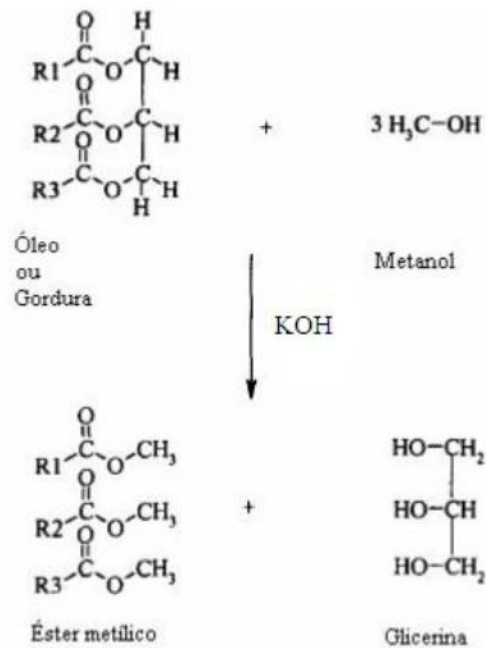


Figura 2.4 - Reação de transesterificação (DANESI e ALMEIDA JR., 2005)

Observando as vantagens da produção do biodiesel a partir do óleo de fritura, foi criado em julho de 2010 uma microusina na Universidade de Brasília, campus Gama, uma planta-piloto de produção de biodiesel, que se encontra em pleno funcionamento.

No processo de produção, a reação química para obtenção do biodiesel é por transesterificação, via rota metílica, com utilização de um catalisador alcalino como, por exemplo, hidróxido de potássio (KOH) ou hidróxido de sódio (NaOH). A purificação deste biodiesel produzido é realizada seguindo-se três etapas de lavagem, e em relação aos subprodutos gerados (FALLA, SILVA, *et al.*, 2010). A Figura 2.5 ilustra o esquema descrito.

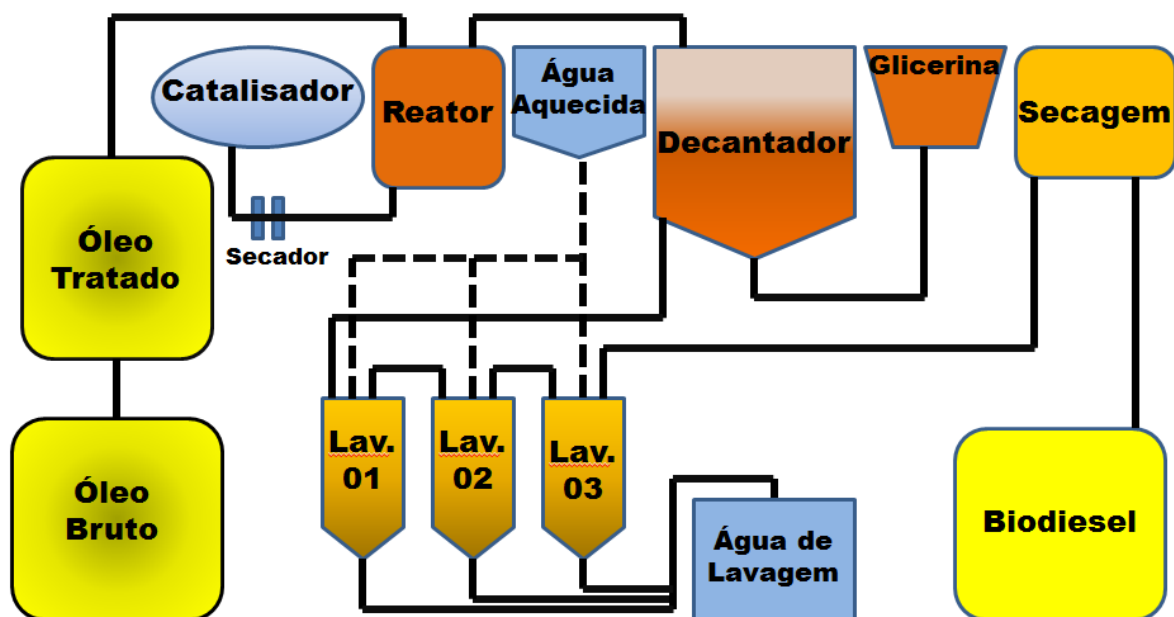


Figura 2.5 - Processo de obtenção de biodiesel a partir de transesterificação metílica do óleo residual de fritura (FALLA, SILVA, et al., 2010)

- Emissões

MAZIERO *et. al.*, 2006, fez um estudo utilizando o biodiesel feito a partir do óleo de girassol, analisando as emissões de gases de exaustão e o desempenho em um motor de ignição por compressão de quatro tempos. Tem-se na tabela 2.1 os resultados do ensaio.

Tabela 2.1 - Média dos resultados obtidos no ensaio de emissões de 13 pontos (MAZIERO et al., 2006)

Emissões específicas	Diesel puro	B100	Diferença Percentual
CO	0,861	0,584	-32,2
CO2	641	610	-4,8
NOx	5,27	5,57	5,7
HC	0,290	0,200	-31,0
MP	0,261	0,154	-41,0
Potência do motor	38,0	34,2	-10,0
Consumo específico	362	441	21,8

Com o uso do biodiesel, as emissões de CO e HC e MP foram expressivamente reduzidas, enquanto a concentração de NOx ficou mais elevada ( 5,7%). As reduções nas emissões específicas de CO e HC podem ser explicadas pela presença de oxigênio na molécula de biodiesel, uma vez que a disponibilidade deste comburente na câmara de combustão desloca a reação de queima do combustível, no sentido de produzir maiores quantidades de CO<sub>2</sub>. No caso do biodiesel, como simultaneamente se observa redução nas emissões de CO<sub>2</sub>, a eficiência de queima pode ter se reduzido, apesar da diminuição observada da concentração de HC nos gases de escapamento. As emissões de HC e CO, reduzidas com o uso do biodiesel, podem ter seus valores reduzidos ainda mais com a definição de valores adequados de parâmetros de injeção (por exemplo, ponto de injeção e taxa de dosagem) nas diversas condições de carga e rotação de funcionamento do motor (MAZIERO *et. al.*, 2006).

O aumento nas emissões específicas de NOx é devido, principalmente, aos pontos de cargas efetivas, em que os menores atrasos químicos da combustão do biodiesel, oxigenado e de elevado número de cetano, facilitam a liberação de calor. Assim, a câmara de combustão atinge valores maiores de temperaturas, o que potencializa a formação de óxidos de nitrogênio (MAZIERO *et. al.*, 2006).

## 2.3 POLUENTES EMITIDOS

Um das grandes preocupações mundiais é a emissão de poluentes para a atmosfera e, uma grande parcela desta é advinda dos veículos automotores. Os gases poluentes, apesar de comporem apenas 1% dos gases expelidos de veículos, são extremamente danosos à saúde e ao meio ambiente (SZWARCFITER, 2004).

A partir dos danos causados à saúde da população os países criam os limites de emissão de gases por veículo, sendo que os principais gases poluentes são: Hidrocarbonetos derivados do petróleo, Óxidos de Nitrogênio, Monóxidos de Carbono e materiais particulados, que serão descritos com mais detalhamento a seguir.

- Hidrocarbonetos

Um dos fatores que ocasiona o aumento nas emissões de HC é o aumento do atraso de ignição e na quantidade de mistura nos perímetros da zona de reação, onde a mistura é muito pobre para a queima. O avanço no ponto de injeção reduz as emissões de HC, entretanto aumenta as emissões de NOx.

As emissões de HC são maiores em motores do ciclo diesel do tipo DI (Direct Injection – Injeção Direta) do que em motores do tipo IDI (Indirect Diesel Injection – Injeção Indireta de Diesel), principalmente em cargas leves, onde existe um significativo atraso de ignição nos motores do tipo DI.

- Óxidos de Nitrogênio

Representados genericamente por NO<sub>x</sub>, são formados pela oxidação do nitrogênio atmosférico, em temperaturas próximas a da combustão e pela oxidação de compostos de nitrogênio presentes no próprio combustível.

Durante a combustão sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o nitrogênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e outros óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

Estes compostos são extremamente reativos e na presença de oxigênio, ozônio e hidrocarbonetos, o NO se transforma em NO<sub>2</sub>. Por sua vez, o NO<sub>2</sub>, na presença de luz solar, reage com hidrocarbonetos e hidrocarbonetos formando o ozônio (O<sub>3</sub>), sendo um dos principais precursores deste poluente na troposfera (BRAGA *et al*, 2002).

Por ser o principal componente do estudo, sua formação e controle será mais detalhada adiante.

- Monóxido de Carbono

Segundo BRAGA *et al*, 2002, o fator determinante para as emissões de monóxido de carbono é a razão ar-combustível. Em um motor multicilindro operando em regime estequiométrico, as variações internas na câmara de combustão no que diz respeito nas razões de ar-combustível, é o fator mais influente nas emissões de CO.

Nos motores do ciclo diesel, o regime de operação consiste em mistura pobre de ar-combustível. Motores bem regulados têm baixas emissões desse poluente.

Inodoro e incolor, o CO é extremamente tóxico. O gás se combina aos glóbulos vermelhos do sangue (hemácias), impedindo o transporte de oxigênio. A eficiência dos catalisadores e sistemas de gerenciamentos elimina até 99% do CO emitido (MARTINS, 2005).

- Material Particulado

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão. O tamanho das partículas é expresso em relação ao seu tamanho aerodinâmico, definido como diâmetro de uma esfera densa que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão.

Partículas derivadas da combustão de fontes móveis e estacionários, como automóveis, incineradores e termoelétricas, em geral, são de menor tamanho, apresentando diâmetro menor que 2,5 milímetros e tem maior acidez. Com essas características podem atingir o trato respiratório, prejudicando as trocas gasosas (BRAGA *et al*, 2002).

Entre seus principais componentes estão o carbono, chumbo, vanádio, bromo e os óxidos de enxofre e nitrogênio, que na forma de aerossóis (uma estável mistura de partículas suspensas em um gás), são a maior fração das partículas finas (BRAGA *et al*, 2002).

Segundo MAIBOOM e TAUZIA (2011), a formação de fuligem, um dos compostos presentes nas emissões de particulados, ocorre no centro do spray de injeção de combustível e a sua oxidação ocorre

na periferia do jato. A sua formação ocorre em regiões ricas de combustível. Dentro dessa região, os hidrocarbonetos de cadeias longas sofrem craqueamento, dado pela alta temperatura e baixa quantidade de oxigênio. A figura 2.6 mostra a região de potencial formação de fuligem dentro da câmara de combustão em motores do ciclo Diesel.

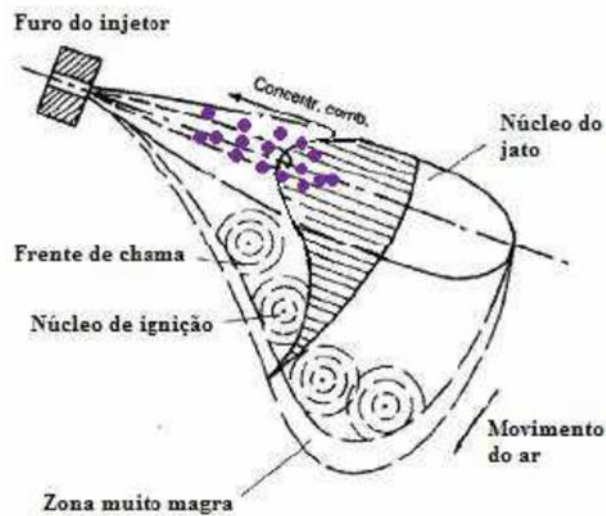


Figura 2.6 - Formação de particulados em motores diesel (PINHEIRO JR., 2010)

## 2.4 FORMAÇÃO DE NOX

Os mecanismos que explicam a formação deste gás são descritos por HSU, 2002 e estão citados a seguir.

Os principais formadores dos NOx são o óxido nítrico e o dióxido de nitrogênio, sendo o primeiro, NO, o responsável por 90%. Apesar de estável em altas temperaturas, este se oxida rapidamente em temperatura ambiente para NOx. Existem três mecanismos para a formação do NO, são eles: formação térmica, imediata e formação do nitrogênio do combustível.

Na formação térmica, de acordo com o mecanismo de Zeldovich, em altas temperaturas de combustão, as moléculas de oxigênio são dissociadas em átomos que se ligam às moléculas de nitrogênio do ar, formando o NO. Esta conversão de dá em temperatura em torno de 1000°C e aumenta consideravelmente acima de 1300°C e, a partir daí com o aumento de 100°C, esta formação tende a dobrar.

Na formação imediata, há um ataque de radicais de carbono e hidrogênio ao nitrogênio formando HCN e depois da oxidação tem-se a formação de NOx. Ocorre à temperaturas mais fracas e com chamas ricas em combustível, porém, na praticam, esta formação não tem tanta importância devido a quantidade formada quando comparada aos demais.



O terceiro mecanismo ocorre a partir da oxidação do nitrogênio do combustível. Esta reação ainda é pouco conhecida, porém, geralmente isto não é um problema para os motores a diesel, visto que o nitrogênio presente é apenas 0,01% do peso do combustível.

A figura mostra a origem da formação de NOx dentro da câmara de combustão. Analisando a figura 2.7, a formação de óxidos nitrosos se concentra em regiões próximas aos núcleos de ignição, regiões onde a temperatura se encontra elevada.

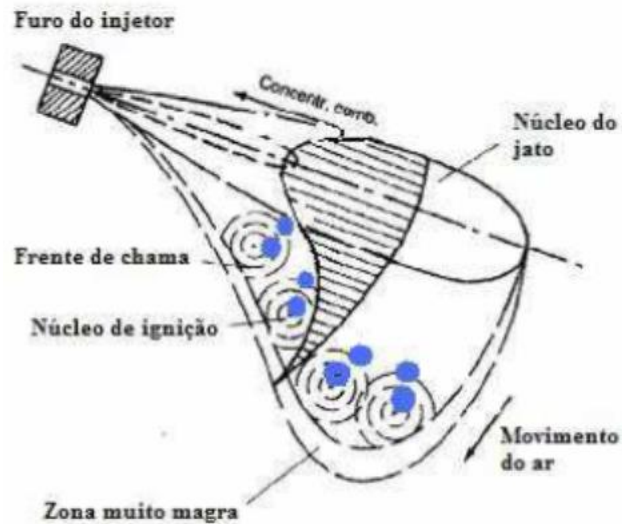


Figura 2.7 - Formação de NOx em motores diesel (PINHEIRO JR., 2010)

Desta forma, é possível afirmar que a formação de NOx é basicamente uma função da temperatura e, pode-se assumir simplesmente que o cálculo dos picos dos ciclos de temperatura determina a quantidade de NOx emitido.

Uma das alternativas à redução de NOx é o EGR (Exhaust Gas Recirculation – Recirculação dos gases de exaustão), fazendo com que uma porção dos gases de escape retorne à câmara de combustão, absorvendo calor, uma vez que são inertes e não reagem na mesma. Porém, essa absorção de energia faz com que se tenha uma pequena perda de potência além de aumentar as emissões de material particulado.

Outra forma de reduzir o NOx é a injeção de água no motor, porque além de reduzir as emissões de NOx em todo o intervalo de carga, podem diminuir os hidrocarbonetos, a fuligem e material particulado.

Uma vez que a formação de NOx depende do pico de temperatura da chama, a água, apesar de inerte na combustão dentro do cilindro, diminui a temperatura adiabática de chama local, absorvendo o calor da chama para vaporizar a água (HSU, 2002).

## 2.5 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA NA COMBUSTÃO

Segundo HSU, 2002, uma vez que a água não participa das reações químicas da combustão, ela tem o papel de retirar energia do ambiente (dentro do cilindro) para sua evaporação, além de proporcionar um aumento no rendimento volumétrico com o resfriamento da câmara. Esta energia retirada é o calor latente de evaporação da água.

A energia retirada do sistema faz com que a temperatura inicial da combustão seja menor, com isso pode-se prever uma diminuição do pico de temperatura, reduzindo assim a formação de NOx. O vapor resultante da evaporação da água no interior do cilindro age como um gás inerte, saindo nos gases de exaustão. O gráfico abaixo faz uma comparação entre diferentes razões de água/diesel para calor liberado e temperatura (Fig. 2.8).

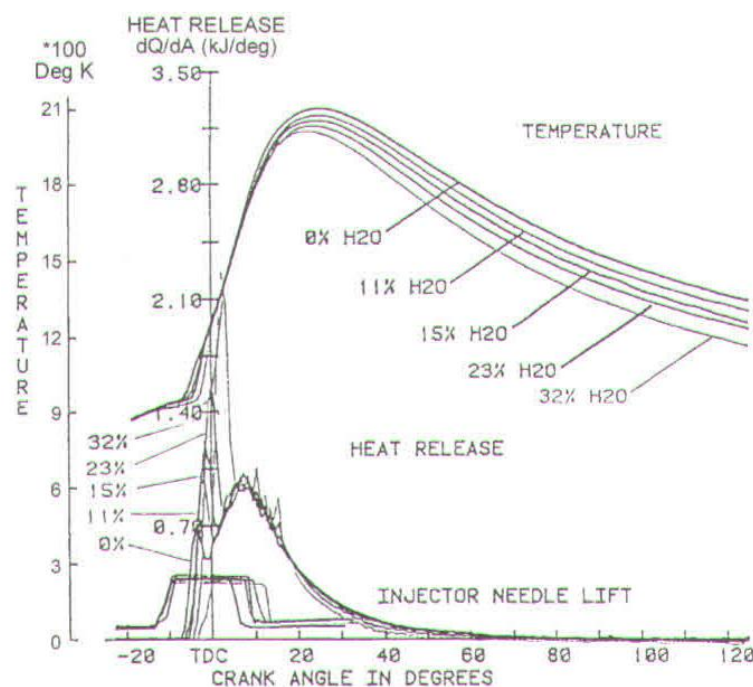


Figura 2.8 - Comparação entre calor liberado e temperatura utilizando emulsão água-diesel (SAE INTERNATIONAL, 1986 apud HSU, 2002).

Ao se injetar água, necessita de alguns cuidados:

- Manter um período de atraso curto, para que evite detonações excessivas e consequentemente perda de potência;
- A água deve ser injetada em forma de névoa (micro gotículas), para que o tempo de evaporação seja rápido e não cause calço hidráulico;

## 2.6 SISTEMAS DE INJEÇÃO DE ÁGUA – PERFORMANCE E EMISSÕES

Segundo GREEVES *et al.*(1976) a introdução de água na mistura heterogênea ar/combustível do sistema de combustão, oferece um número de possíveis benefícios. Estes incluem a redução da temperatura do sistema, a melhora da atomização e redução nas emissões de óxidos de nitrogênio e de material particulado.

As reduções nas emissões de material particulado são atribuídas a ocorrência de micro explosões, devido ao efeito perturbador da vaporização da água dentro das gotículas de combustível, no período de aquecimento das gotas. Na aplicação automotiva dos motores Diesel, há um grande interesse na injeção de água com a perspectiva de regulamentações mais rigorosas com relação à necessidade de se conservar ou melhorar a economia de combustível.

Em seu experimento GREEVES *et al.*(1976) testou as três formas de injeção de água: na entrada do coletor de admissão, em injeção direta na câmara de combustível utilizando duas bombas e dois injetores e outra também diretamente na câmara porém em forma de emulsão diesel-água, utilizando duas bombas e um injetor, conforme a figura a seguir (Fig. 2.9).

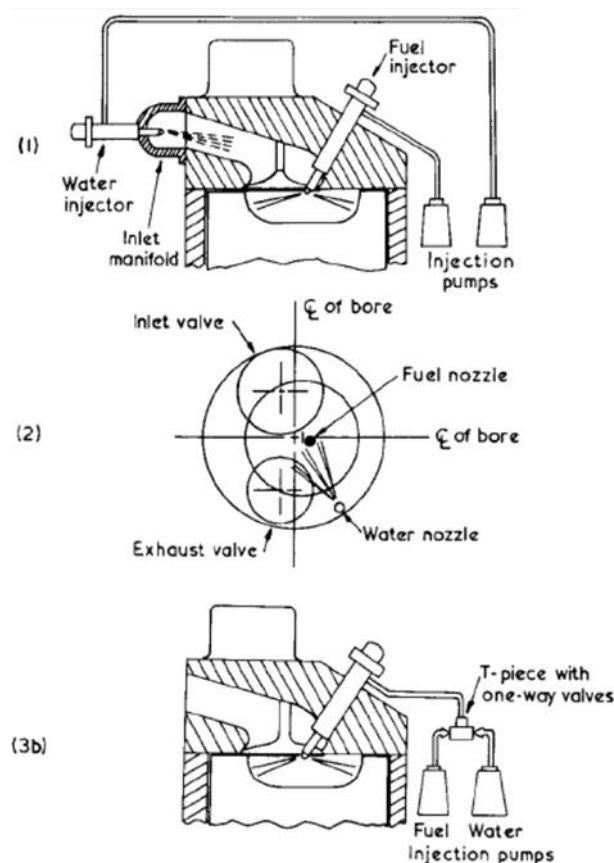


Figura 2.9 - Sistema de injeção de água (1) Injeção de água no coletor de ar (2) Sistema com duas bombas e dois injetores (3) Sistema com duas bombas e um injetor (GREEVES *et al.*, 1976)

Os resultados dos testes foram mostrados em forma de gráficos como mostrado abaixo (Fig. 2.10).

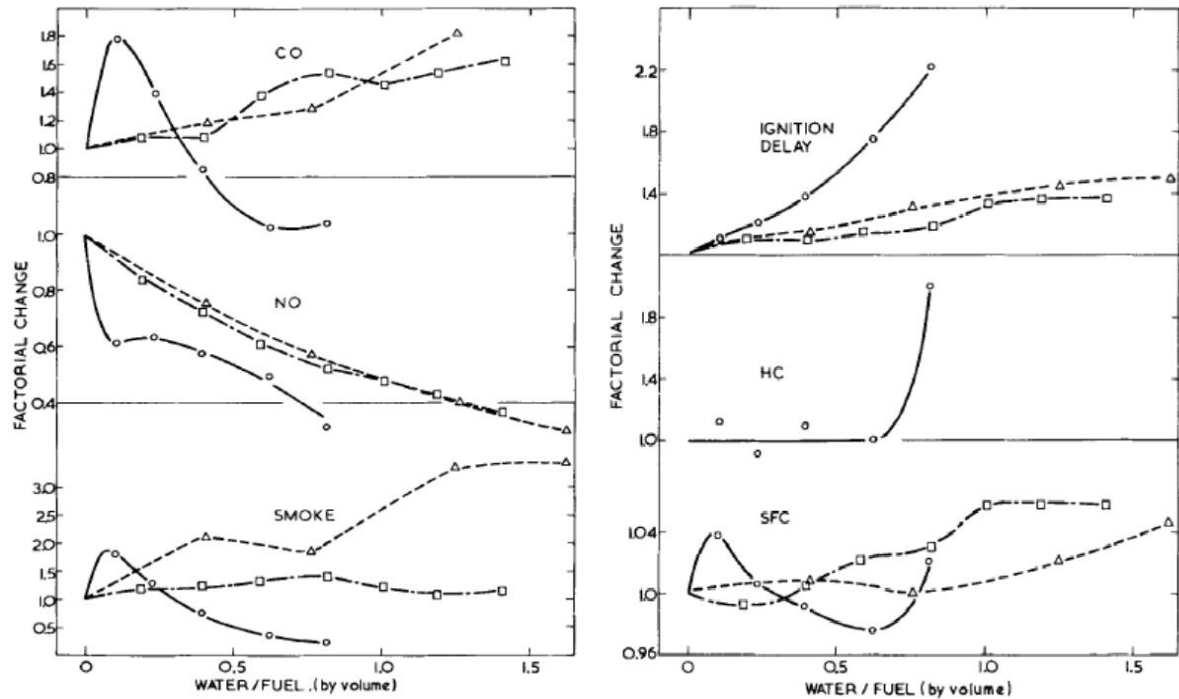


Figura 2.10 - Gráfico comparação dos três sistemas de injeção de água. Quadrado = injeção de água no coletor de ar; Triângulo = sistema com duas bombas e dois injetores; Círculo = Sistema com duas bombas e um injetor (GREEVES et al., 1976)

O resultado do sistema de injeção de água no coletor de admissão foi significativo, uma vez que não necessita de mudanças diretas no motor e tem custo inferior aos demais. Vê-se a seguir uma tabela (Tab. 2.2) comparativa entre experimentos de diversos autores em relação a emissões, consumo específico de combustível e atraso de ignição, feitos em rotações, razões de água/combustível e tipos de injeção diferentes, onde todos utilizando o método de injeção de água no coletor de ar.

Tabela 2.2 - Comparação de resultados do sistema de injeção de água no coletor de admissão (GREEVES *et al.*, 1976)

Fonte de dados	Sistema de combustão	Rotação do motor (rev/min)	Razão W/F vol.	Fator de mudança					
				NO	HC	Fumaça	CO	SFC	Atraso
<i>Greeves et al</i>	DI	2000	0,5	0,7	-	1,25	1,20	1,01	1,10
			1,0	0,49	-	1,25	1,45	1,06	1,33
			1,4	0,38	-	1,20	1,61	1,06	1,37
<i>Wilson et al</i>	DI	2100	0,42	0,55	-	1,10	-	0,99	-
			0,83	0,38	-	1,20	-	0,99	-
			1,24	0,28	-	1,14	-	1,01	-
<i>Valdmanis wulfhorst</i>	DI	2600	0,5	0,68	1,70	0,81	0,84	-	-
			1,0	0,52	2,10	0,78	0,74	-	-
<i>Vichnievsky et al</i>	DI	2000	0,5	0,77	-	0,41	0,60	0,96	-
			1,0	0,64	-	0,64	0,70	0,97	-
<i>Marshall Hurn</i>	DI TC	2100	0,36	0,73	-	-	-	-	-
			1,08	0,32	-	-	-	-	-
<i>Wilson et al</i>	IDI	1500	0,42	0,70	-	0,64	-	0,97	-
			0,83	0,53	-	0,43	-	1,00	-
			1,24	0,48	-	0,30	-	1,00	-
<i>Torpey et al</i>	IDI	1500	0,5	0,90	1,0	-	1,0	1,01	-
			1,0	0,71	1,0	-	1,0	1,01	-
			1,5	0,63	1,0	-	1,0	1,02	-

Outro estudo realizado neste seguimento foi feito por TESFA *et al.*(2011), em que diz que o biodiesel é um dos combustíveis renováveis mais promissores que pode ser utilizado em motores Diesel sem necessidade de mudança. No entanto relata que os motores que funcionam com biodiesel emitem concentrações mais elevadas de NOx. Para tal problema investigou experimentalmente o desempenho e as características de emissões de um motor de ignição por compressão, utilizando o biodiesel como combustível, com um sistema de redução de NOx que consistia em injetar água.

O trabalho experimental foi realizado em um motor de quatro cilindros turbinado, quatro tempos, de injeção direta (DI). No experimento, o biodiesel (produzido a partir do óleo de colza pelo processo de transesterificação) foi utilizado. Durante as experiências, a pressão dentro do cilindro, o consumo específico de combustível, o fluxo de injeção de água, a taxa de fluxo de combustível e emissão de gases de escape (NOx, CO, CO2 e THC) foram medidos. Os resultados experimentais indicaram claramente que a injeção de água a uma taxa de 3 kg / h resultou em uma redução de emissões de NOx em cerca de 50%, sem causar qualquer mudança significativa no consumo específico de combustível.

Além disso, a injeção de água no coletor de admissão tem pouco efeito sobre a pressão dentro do cilindro e taxa de liberação de calor do motor de ignição por compressão, em condições de operação diferentes.

Pode-se observar a seguir os gráficos obtidos por TESFA et al, (2011) de consumo específico de combustível e redução de NOx para diferentes cargas aplicadas, injetando 1,8 e 3 Kg/h de água (Fig. 2.11 e 2.12).

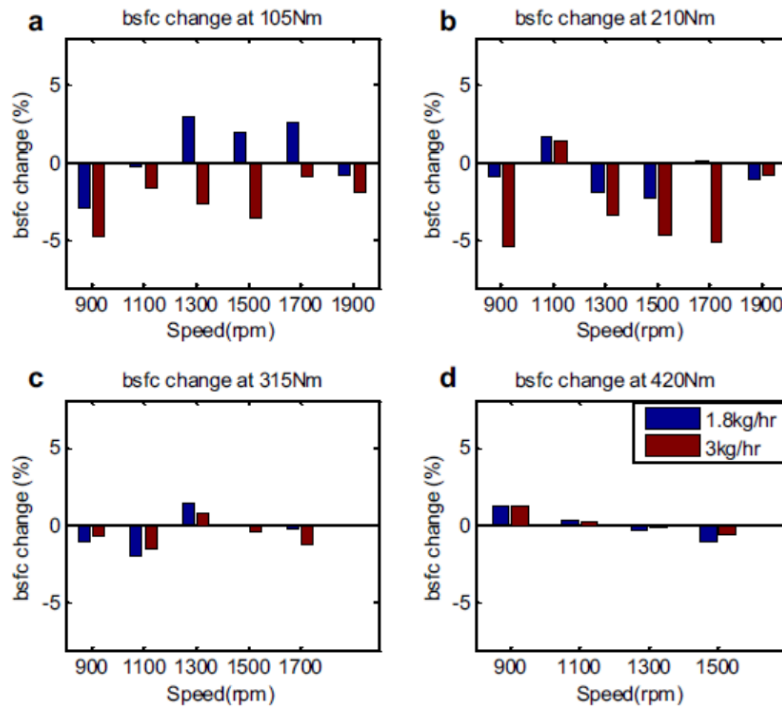


Figura 2.11- Consumo específico de combustível em diferentes cargas (TESFA et al., 2011)

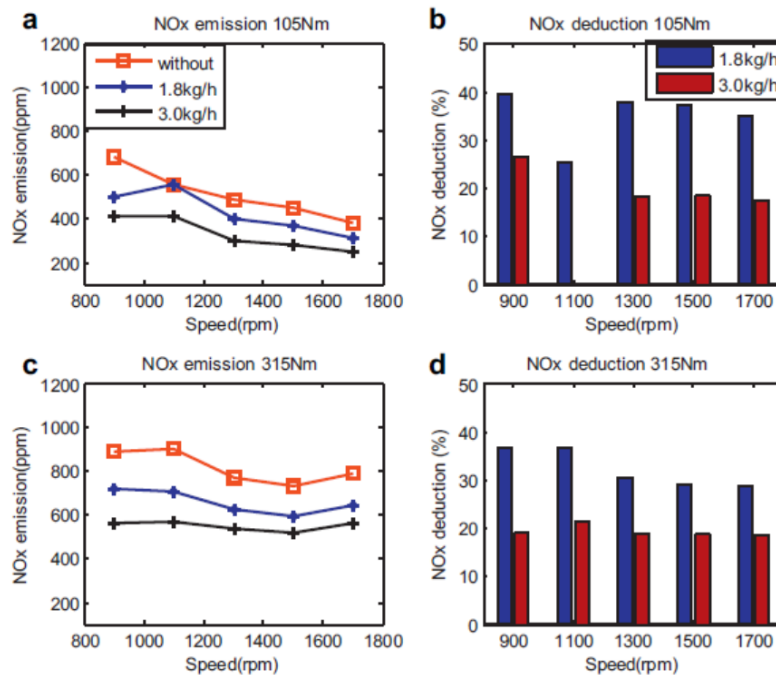


Figura 2.12 - Emissões de NOx e porcentagem de reduções (TESFA et al., 2011)

Em seu trabalho TESFA *et al*, 2011, também mostra que injeção de água no coletor de admissão não indica qualquer diferença significativa no pico de pressão de cilindro e taxa de libertação de calor do motor funcionando com o biodiesel. Os resultados mostram que a injeção de água no coletor de admissão podem não afetar a temperatura de pico, em vez disso ela afeta a temperatura de pré-mistura da combustão que é principalmente a causa de emissões de NOx. Vê-se no gráfico a seguir como não há mudança significativa da taxa de liberação de calor (Fig. 2.13).

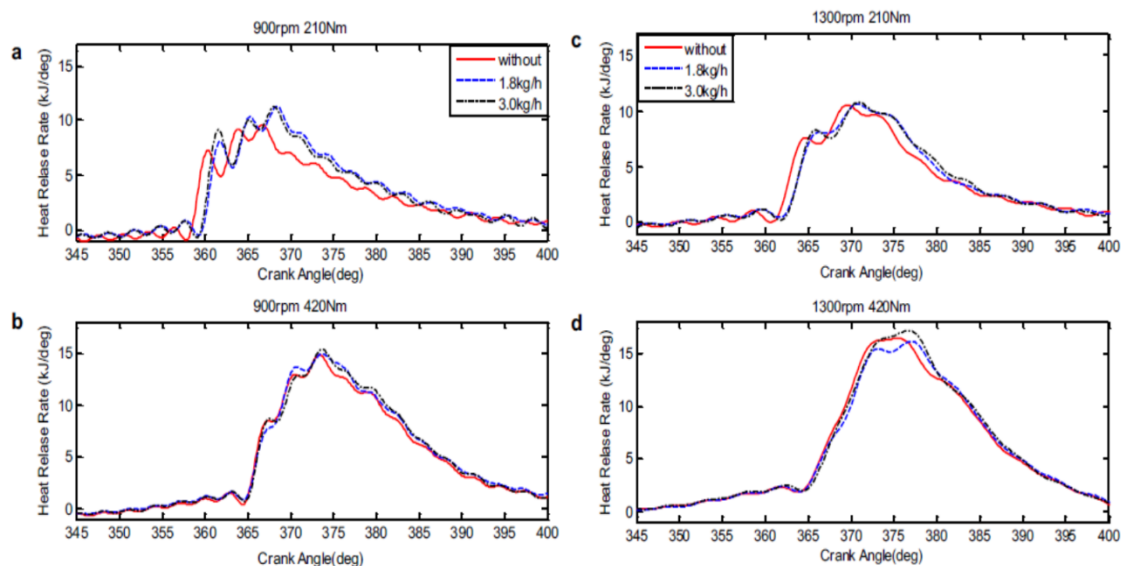


Figura 2.13 - Gráfico razão do calor liberado em diferentes cargas (TESFA et al., 2011)

É relatado que a redução de até 50% de NOx acontece a uma taxa de injeção de 60 a 65% de água ao longo de um intervalo de carga. A principal vantagem da injeção de água no coletor de admissão é a sua simplicidade e facilidade com que ele pode ser integrado aos motores existentes e também com qualquer novo design. Uma vez que neste sistema a água é injetada através de uma válvula separada e não se mistura com o combustível diretamente, não afetam as propriedades do fluxo de combustível.

GREEVES *et al.*(1976) em seu trabalho ressalta que há pouca informação abrangente sobre as vantagens relativas de vários métodos através dos quais a água pode ser injetada para o sistema de combustão de gasóleo.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 MÉTODO DE ENSAIO DO MOTOR

Este trabalho teve o cronograma de atividades descrito na tabela do Apêndice 7.4.

O ensaio do motor foi feito utilizando um dinamômetro elétrico, que consiste basicamente em um grupo moto-gerador ligado a cargas pré-estabelecidas. Por se tratar de um teste de potência e consumo específico, o ensaio foi feito à velocidade constante, variando a carga de zero até a carga máxima admitida pelo motor. Os incrementos de carga devem ser adequados para permitir a obtenção de uma curva contínua (OBERT, 1971).

A análise das emissões foi feita conforme o elemento analisado. Para análise de NO<sub>x</sub>, o gás de exaustão foi coletado em um recipiente apropriado que foi levado ao Laboratório de Nanosensores da FGA/UnB para ser analisado no espectrômetro disponível (fig.3.1). Para os demais gases, HC, CO e CO<sub>2</sub>, foram coletados diretamente no escapamento do motor em teste por meio de uma sonda do próprio aparelho.

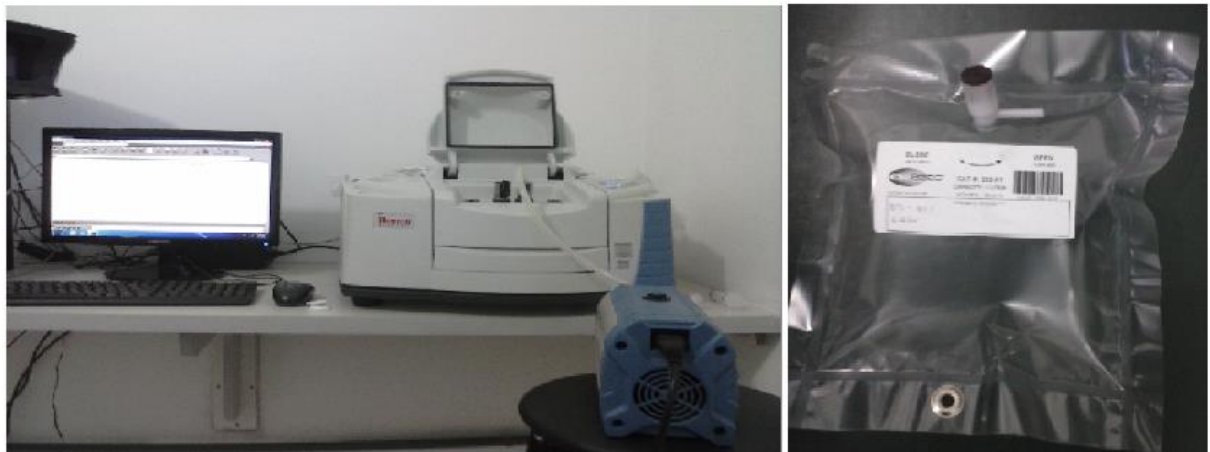


Figura 3.1 - Recipiente de coleta de gases e espectrômetro (Thermo Scientific™)

O consumo específico de combustível foi feito cronometrando a variação da massa de combustível sobre uma balança de precisão. Para se ter uma medida confiável, as medições foram realizadas após o tempo de estabilização da mudança de carga. Foram feitas quatro medições de quinze segundos cada. Tem-se a seguir um esquema da montagem do ensaio sem injeção de água (Fig. 3.2).



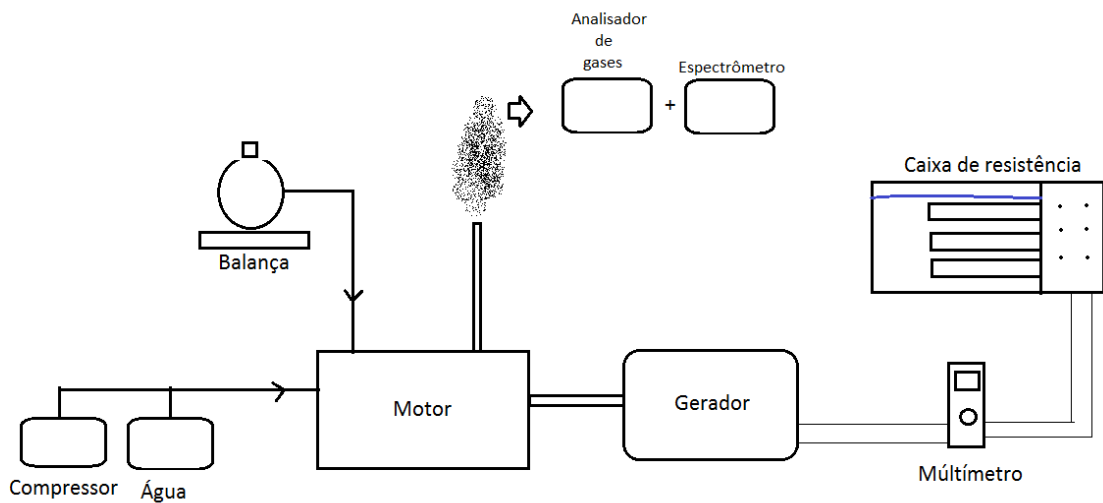


Figura 3.2 - Esquema de montagem do ensaio sem injeção de água

### 3.2 MÉTODO DE INJEÇÃO DE ÁGUA

O método de se pode injetar água no coletor de admissão é em forma de névoa e/ ou vapor. É um método simples e bastante eficaz para a redução de NOx. Outro fato que o torna razoável é pela sua facilidade de adaptação, por não precisar de nenhuma modificação no motor, bastando apenas uma válvula na admissão de ar. Para o teste feito, foi necessário o uso de um compressor de ar, pois em baixas vazões o bico nebulizador apresentava gotas. Desta forma, quando em baixas vazões uma conexão acoplava, após a saída da válvula reguladora de água, uma mangueira com ar comprimido, para se obter assim uma névoa com micro-gotas. Na figura abaixo pode-se ver o esquema da montagem.

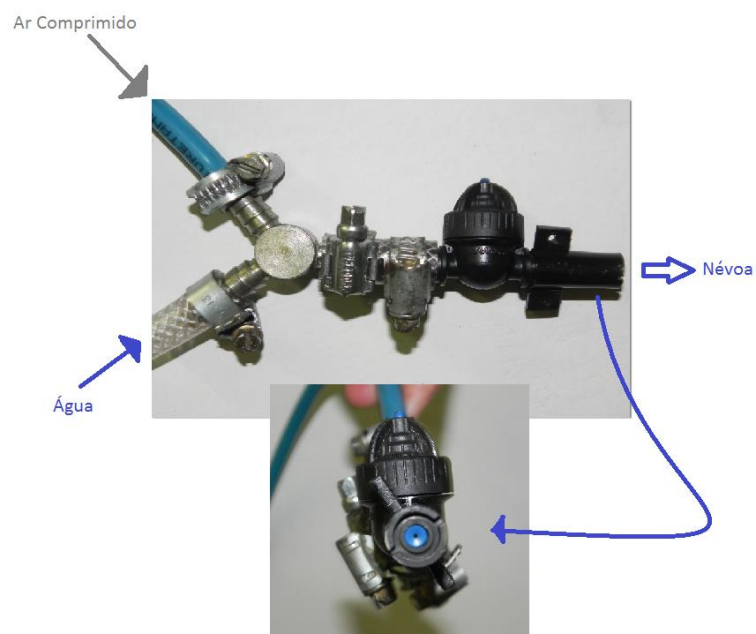


Figura 3.3– Montagem bico nebulizador

A adição de água no coletor foi feita de forma gradativa, variando de acordo com a razão água/combustível, nos níveis 0, 0.1, 0.5 e 1. Estas razões foram calculadas baseando-se no funcionamento do motor sem a adição de água (razão 0%), e então as quantidades de água que seriam injetadas foram calculadas, sendo elas 10%, 50% e 100% das quantidades de combustível. É importante ressaltar que a quantidade de combustível injetada não foi modificada, apenas serviu de base para cálculo de vazões de água que seria adicionada. A figura 3.5 mostra em forma de esquema como foi feito o uso do método de injeção de água no coletor de ar.

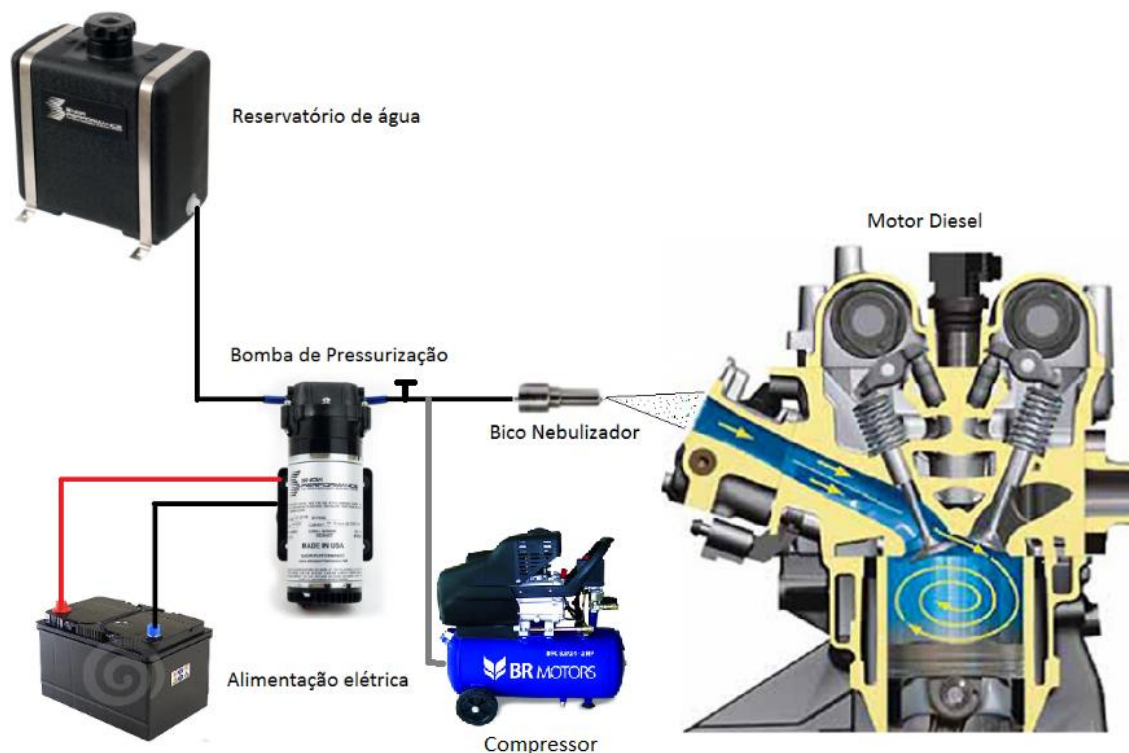


Figura 3.4 - Esquema método de injeção de água

### 3.3 PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS B5 E B20

No estudo, foram utilizados como combustíveis de teste os biodiesel B5 e B20, que consistem em 5 e 20% respectivamente de biodiesel misturado ao diesel. Suas escolhas foram devidas as perspectivas de mercado.

O B5 e o B20 para o experimento foram feitos a partir de diesel puro e adicionado biodiesel produzidos no próprio laboratório de motores onde foram realizados os testes. Vê-se na figura 3.6 a bancada montada para a produção.



Figura 3.5 – Bancada para produção manual de biodiesel

Antes do uso, foram realizados testes, para que fosse comprovada a qualidade do biodiesel. O principal teste foi feito no Laboratório de Nanosensore na FGA - Gama, através de um espectrômetro FT-IR da marca Thermo Scientific, modelo Nicolet iS10 FT-IR (Fig. 3.7), interfaciado a um computador utilizando o *software* OMNIC. Este espectrofotômetro utiliza o sistema de espectroscopia de infravermelho que gera bandas características dos elementos analisados.

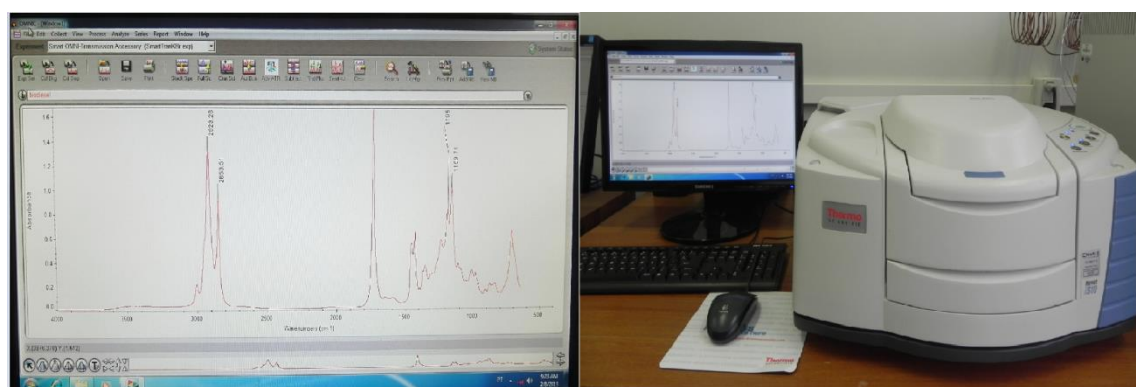


Figura 3.6 - Espectrofotômetro Nicolet iS10 e *Software* OMNIC (Thermo Scientific™)

Para a composição do B5 e do B20 foi acrescido respectivamente 5% e 20% de biodiesel feito a partir do óleo de fritura, produzidos na microusina de biodiesel do campus Gama da Universidade de Brasília, no óleo diesel puro. A preparação da mistura B20 pode ser vista na tabela 3.1.

As características físico-químicas da mistura B5 e do biodiesel puro (B100) podem ser vistas no Anexo.

Tabela 3.1- Misturas diesel - biodiesel

Misturas \ Combustível	Diesel Puro – B0 (%)	Biodiesel (Óleo de fritura) - B100 (%)
	B5	95
B20	80	20

### 3.4 CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Pode-se ver na figura 3.8 a imagem dos instrumentos que foram utilizados no projeto.



Figura 3.7 - Equipamentos utilizados:(1) Moto-gerador (2) Caixa comando do moto-gerador (3) Multímetro (4) Resistência dissipadora (5) Quadro comando das cargas (6) Balança de precisão (7) Analisador de gases (8) Espectrômetro (9) Compressor (10) Bomba de água e bico nebulizador

#### 3.4.1 MOTO - GERADOR

O moto-gerador é montado pela empresa Leon Heimer do Brasil Ltda, em chassi de fabricação própria. O equipamento possui as seguintes medidas e peso:

- Modelo: GEHK-18;
- Comprimento: 1.500mm;
- Largura: 650mm;
- Altura: 1.300mm;
- Peso: 430Kg;

- Fator de Potência: 0,8.

Para que moto-gerador ficasse em pleno funcionamento algumas etapas foram seguidas como:

- Limpeza do motor, chassi e caixa mostradora
- Troca de óleo lubrificante
- Aperto dos parafusos e braçadeiras
- Troca do filtro de combustível
- Verificação do nível do fluido de arrefecimento

Para diagnosticar a rotação em que o moto-gerador estava operando, foi instalado no volante de inércia um medidor de pulso, e com o auxílio de um osciloscópio foi possível sua verificação (Fig.3.9).

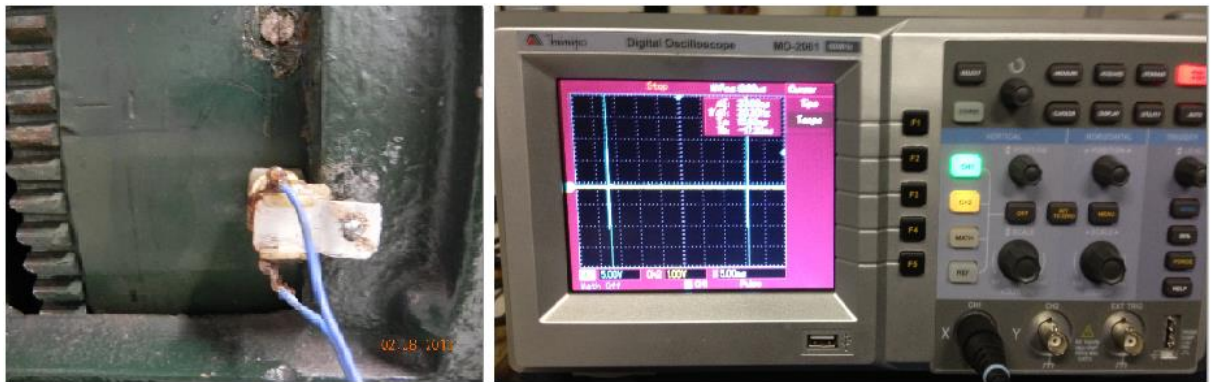


Figura 3.8 - Medidor de pulso e osciloscópio

### 3.4.1.1 MOTOR

O motor é fabricado pela empresa indiana Kirloskar Oil EnginesLtda com as seguintes características:

- Modelo: DM-20;
- Cilindro/Disposição: 2 cilindros em linha;
- Válvulas: 2 válvulas por cilindro, no cabeçote;
- Comando de válvulas: lateral no bloco;
- Diâmetro x Curso:100mm x 120mm;
- Cilindrada total: 1.884 cm<sup>3</sup>;
- Potência:23,0cv (16,9 kWh) a 1.800 rpm;
- Taxa de compressão:17,0 : 1;
- Refrigeração: água, circuito fechado, bomba centrífuga;

- Lubrificação: óleo com bomba tipo diafragma;
- Admissão: aspiração natural;

Injeção de combustível: bomba injetora mecânica com controle automático.

### **3.4.1.2 GERADOR**

O gerador da marca Heimer do Brasil Ltda tem as seguintes características:

- Potência máxima fornecida: 12kW;
- Frequência fornecida: 60Hz;
- Rotação de trabalho: 1.800rpm;

Tensão de saída: 220V, corrente alternada.

### **3.4.2 BANCADA DE RESISTÊNCIA**

O ensaio foi feito com cargas pré-determinadas a partir de uma bancada de resistências. Essa bancada consiste em uma caixa com resistências elétricas submersas em água, para que calor pudesse ser dissipado, e cada resistência tinha o seu acionamento individual, podendo fazer diferentes combinações de cargas. Essas resistências são do tipo mergulhão com as características abaixo:

- Marca: IMC;
- Modelo: Ebulidor Niquelado;
- Potência: 0,9 kW e 10,5 kW.

### **3.4.3 INJETOR DE ÁGUA**

Para a montagem do injetor de água foi utilizada uma bomba de água pressurizada, uma mangueira de alta pressão, bico nebulizador, válvula reguladora de vazão e um compressor.

#### **3.4.3.1 BOMBA PRESSURIZADA**

A bomba de água utilizada tem as seguintes características:

- Marca: SEAFLO;
- Modelo: SFDP1-014-100 22;
- Vazão 1,4GPM ;
- Pressão máxima: 100psi;
- Voltagem 12V;
- Amperagem: 2,1<sup>a</sup>





Figura 3.9 – Bomba de água pressurizada

### 3.4.3.2 BICO NEBULIZADOR

Os bicos nebulizadores tem as características:

- Marca: NETAFIM™;
- Modelo: 055 e 075;
- Tamanho do bocal: 0,62mm;
- Pressão de serviço: 4 a 5bar;
- Vazão: 5,5 e 7,5L/h.

### 3.4.3.3 COMPRESSOR

O compressor utilizado tem as seguintes características:

- Marca: BR Motors
- Modelo: BRC8.8/24L
- Potência: 2HP Monofásico
- Pressão Máxima: 120LB
- Capacidade do Reservatório: 24L
- Vazão: 250L/min

### 3.5 SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

A coleta de dados foi feita conforme as normas descritas anteriormente e conta com os instrumentos necessários para tal coleta, conforme descrito abaixo.

#### 3.5.1 MULTÍMETRO

Para a medição da potência gerada pelo moto-gerador, foi utilizado um multímetro, uma vez que com os dados de saída, tensão e corrente, pode-se obter a potência gerada, que é a potência efetiva de saída do grupo moto-gerador a partir da equação:

$$P_b = U \times I \quad (1)$$

Onde  $P_b$  é potência gerada ou potência de eixo,  $I$  é a corrente elétrica e  $U$ , tensão elétrica.

O multímetro da marca SMART tem as seguintes características:

- Modelo: FT-266C;
- Tensão: até 700V
- Corrente: até 1000A

#### 3.5.2 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

O consumo de combustível foi feito a partir da vazão mássica de combustível com auxílio de uma balança de precisão e um cronômetro. Os dados da balança são:

- Marca: Toledo;
- Modelo: ARD 110;
- Capacidade: 4.100g;
- Incremento: 0,01g;
- Repetibilidade (desvio-padrão): 0,01g;
- Tempo de estabilização: 3s;
- Temperatura de operação: 10 a 30°C.



### 3.5.3 TEMPERATURA DE EXAUSTÃO

Para a medição da temperatura dos gases de exaustão foi utilizado um termopar do tipo K e um leitor digital da marca OMEGA.



Figura 3.10 – Leitor e termopar tipo K

### 3.5.4 AVALIAÇÃO DE GASES DE EXAUSTÃO

Para a averiguação dos gases de exaustão foram utilizados dois instrumentos. Na medição dos níveis de CO, CO<sub>2</sub>, HC do motor e razão de equivalência da mistura ar-combustível foi utilizado o analisador de gases da marca AVL Ditest, modelo DiCom 4000.

Para a análise do NO<sub>x</sub> foi utilizado um espectrômetro FT-IR da marca Thermo Scientific, modelo Nicolet iS10 FT-IR do Laboratório de Nanosensores da FGA-UnB. Pelo aparelho não possuir uma célula de análise de gases, esta foi construída, utilizando lentes de KBr (brometo de potássio), tubos e conexões em PVC e válvulas para gás. Na figura 3.11 pode-se ver o seu formato e acoplamento ao espectrômetro.



Figura 3.11 – Célula de análise de gases

### 3.5.5 OSCILOSCÓPIO

O osciloscópio utilizado tem as seguintes características:

- Largura de banda 60MHz/2 canais;
- Taxa máxima de amostragem real de 1GS/s para um canal e taxa de amostragem equivalente de 25GS/s por canal;
- Ambiente de Operação: 0°C~40°C;
- Altitude de Operação: < 3000m;
- Dimensões: 150(A) x 320(L) x 130(P) mm.

### 3.6 CÁLCULO DO CONSUMO ESPECÍFICO

Para o cálculo do consumo específico, utiliza-se a fórmula,

$$SFC = \frac{\dot{m}_d}{P_i} \quad (5)$$

onde SFC (g/kW.h) é o consumo específico de combustível,  $\dot{m}_d$  (g/h) é o fluxo de massa de combustível e  $P_i$ (kW) é a potência indicada, calculada anteriormente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 AVALIAÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

A avaliação dos combustíveis foi feita utilizando o método de espectrometria, com a obtenção dos espectros característicos. Assim, pôde-se constatar a boa qualidade das amostras. A figura 4.1 mostra os espectros das amostras de biocombustíveis, onde se observa apenas picos característicos de biodiesel e misturas diesel-biodiesel.

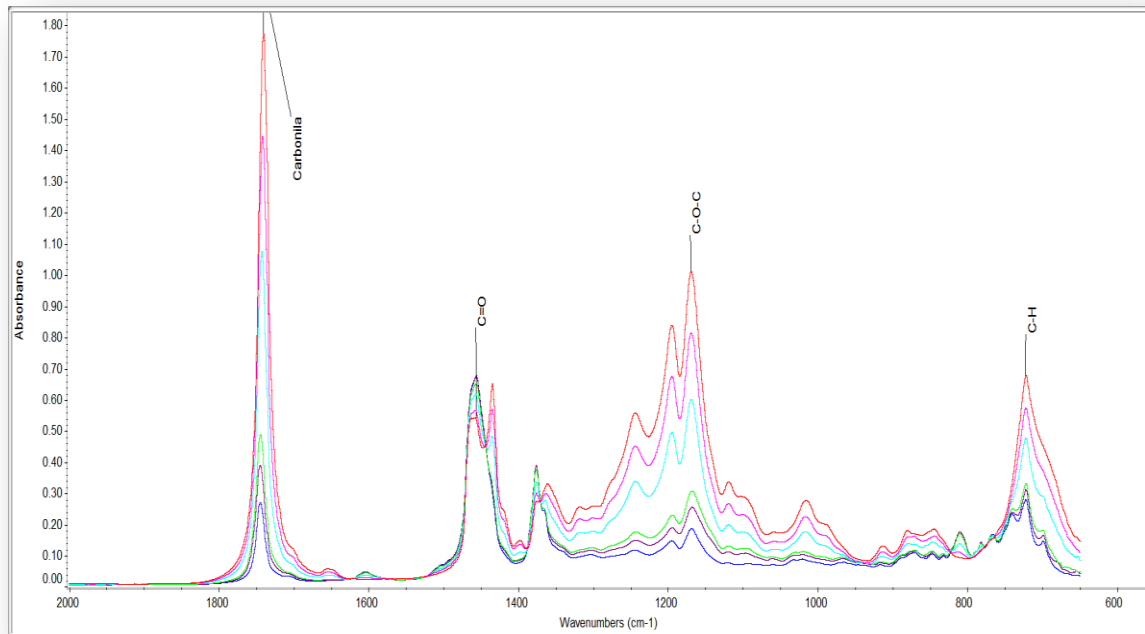


Figura 4.1 – Espectros de amostras de diesel-biodiesel e B100 .

### 4.2 PARÂMETROS DE DESEMPENHO

Como proposto na metodologia do trabalho, foram avaliados os parâmetros de desempenho como o consumo específico, rotações (RPM) e temperatura de exaustão do motor. As tabelas geradas se encontram no Apêndice 7.1. A mistura B20 foi comparada apenas em consumo específico, pois os outros parâmetros de desempenho se mantiveram equivalentes ao B5.

#### 4.2.1 CONSUMO ESPECÍFICO

Foi quantificado o consumo médio de cada amostra a partir de quatro medições de vazão mássica de quinze segundos para cada amostra e obteve os resultados mostrados no gráfico a seguir.

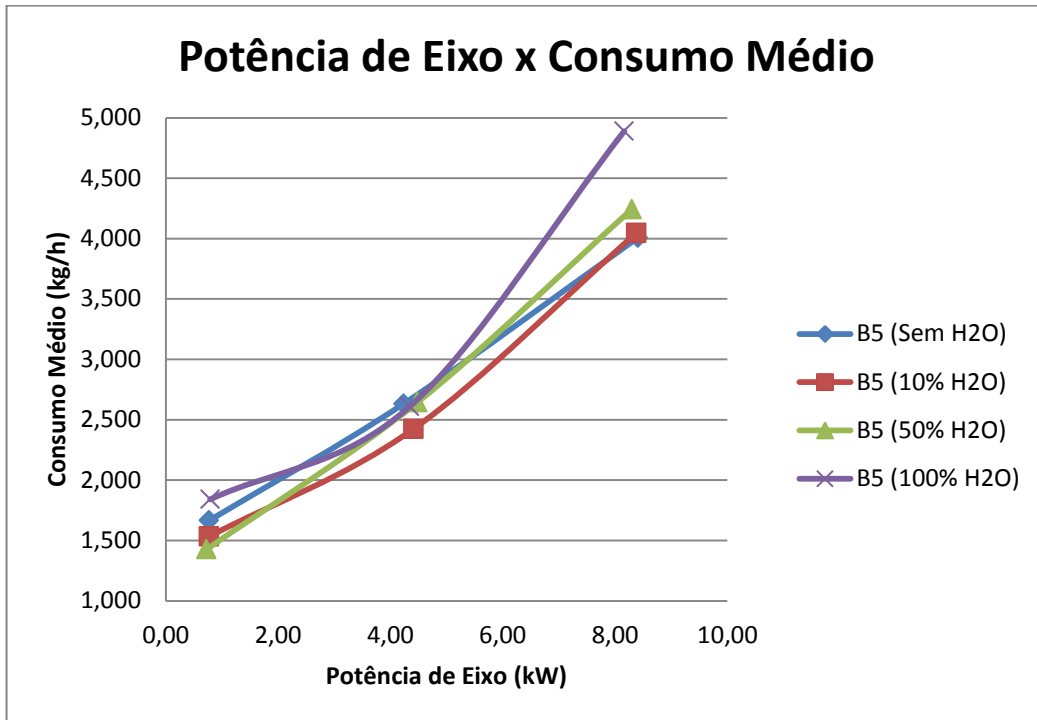


Figura 4.2 - Gráfico Potência pelo Consumo médio (B5)

A partir deste gráfico de consumo médio e obtendo a potência fornecida pelo moto-gerador a partir das medidas de potencia, pôde-se determinar o consumo específico das amostras que pode ser visto na figura 4.3.

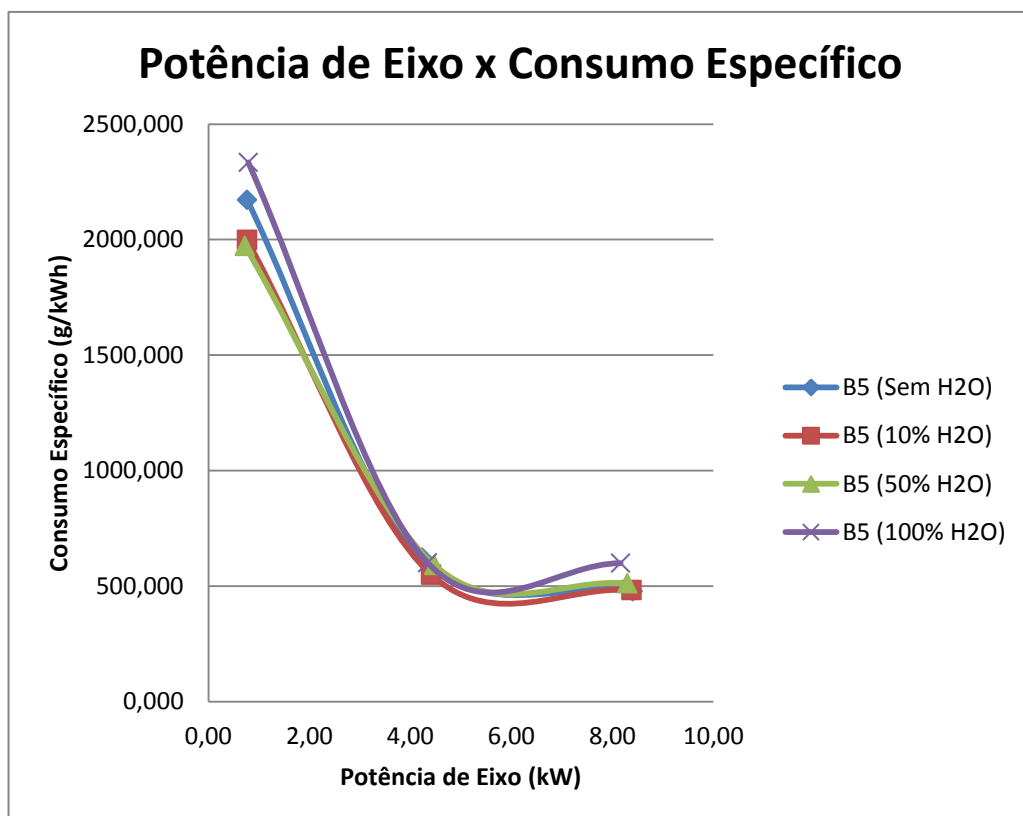


Figura 4.3 – Potência de eixo pelo consumo específico (B5)

Analisando o gráfico mostrado e a tabela (Apêndice 7.1) vê-se que o consumo específico das amostras com 10 e 50% de água tiveram uma redução de consumo de combustível quando em cargas baixas e médias de até 10%, porém em cargas mais elevadas esta redução não ocorreu. A amostra com razão água/combustível igual a 1, se observou um aumento do consumo.

Estas reduções de consumo das amostras 10% e 50% em baixas e médias cargas ocorrem devido ao resfriamento do ar na entrada da câmara de combustão, uma vez que este resfriamento aumenta a densidade do ar, fazendo que o volume específico diminua, trabalhando o motor assim com uma mistura mais pobre. Porém, quando este resfriamento se torna excessivo, a pressão dentro da câmara diminui, e assim, de acordo com o gráfico pressão volume, o trabalho realizado também diminui, gerando a necessidade de maior injeção de combustível para se manter a mesma potência requerida.

Para as amostras B20 pôde-se notar uma redução significativa no consumo específico como visto no gráfico abaixo.

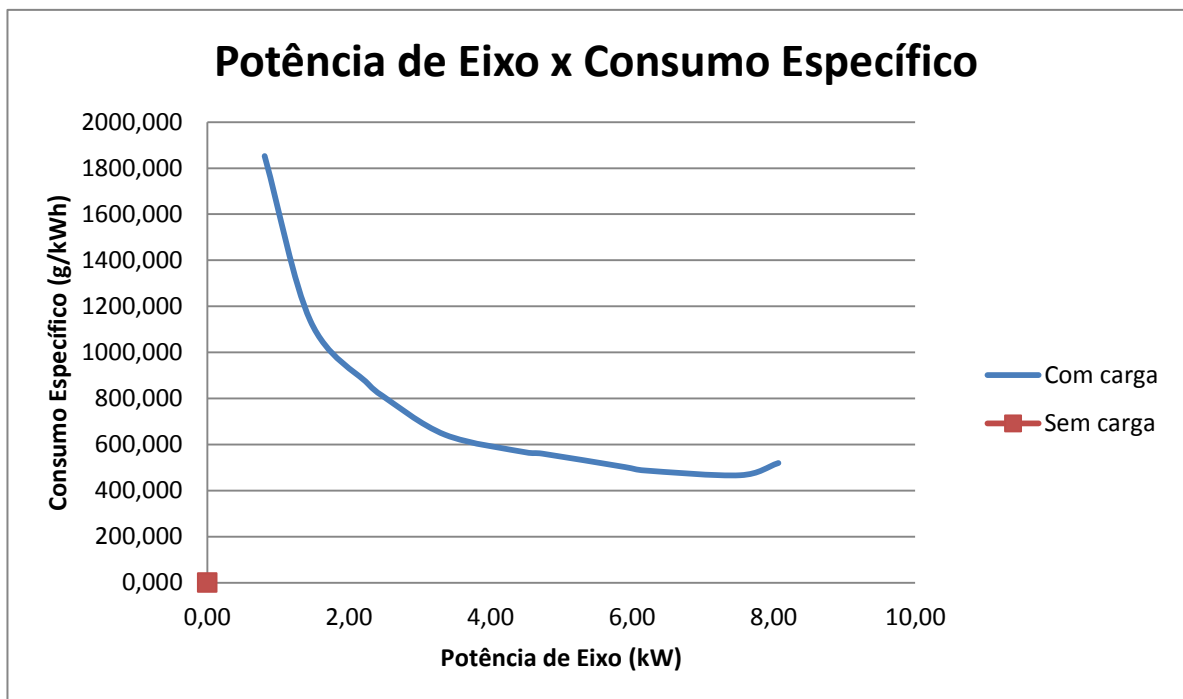


Figura 4.4 – Gráfico potência de eixo por consumo específico (B20)

Esta redução do consumo, conforme o combustível utilizado pode ser melhor vista na tabela 4.1, reduzindo até 17% do consumo.

Tabela 4.1 – Consumo específico B5 e B20

Consumo Específico (g/kWh)		
Cargas (kW)	B5	B20
1	2171.429	1852.647
6	621.775	565.925
11	476.776	519.534

#### 4.2.2 ROTAÇÃO

A verificação de rotação do motor foi realizada para que pudesse ser confirmada a geração do motor a rotação constante, que são características de motores estacionários. Uma vez que esta constância não é verificada, pode-se afirmar que o motor não está em condições normais de funcionamento. Com o gráfico a seguir, verifica-se a regularidade de funcionamento do motor utilizando B5, variando dentro de limites aceitáveis de rotação.

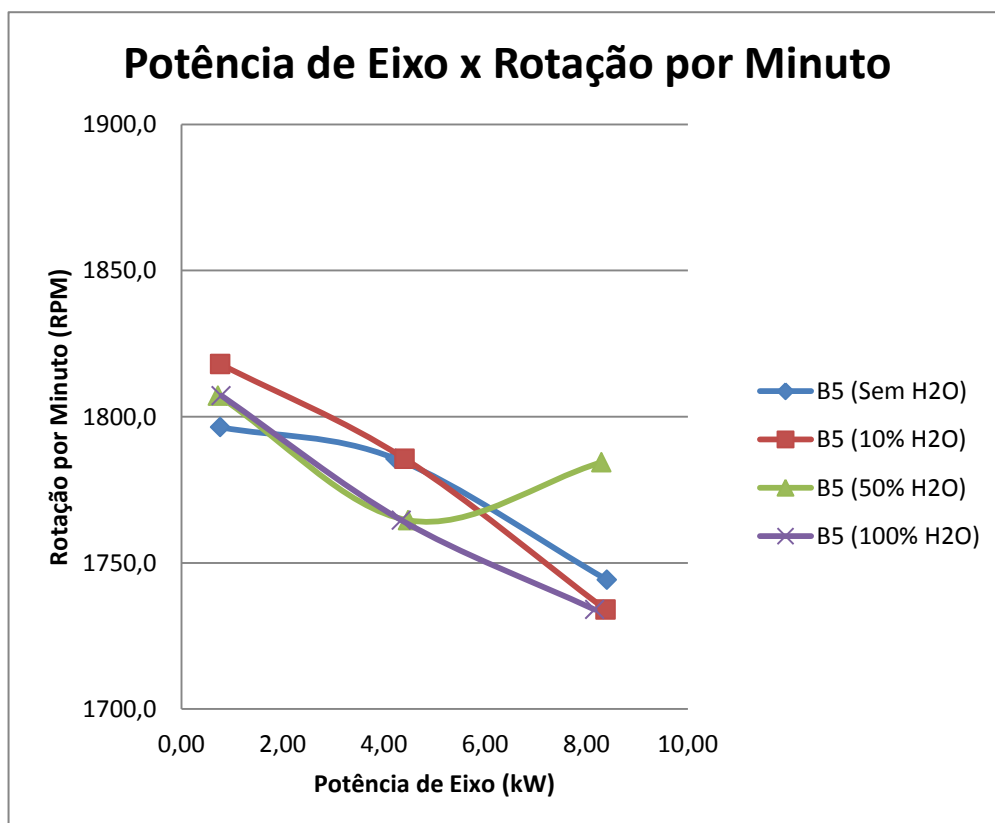


Figura 4.5 – Gráfico potência de eixo por rotações por minuto

### 4.2.3 TEMPERATURA DE EXAUSTÃO

A temperatura de exaustão do motor mostra a redução da temperatura no interior do cilindro devido à injeção da água. Pode se notar com o gráfico a seguir que a temperatura reduziu a medida que aumentou a quantidade de água injetada.

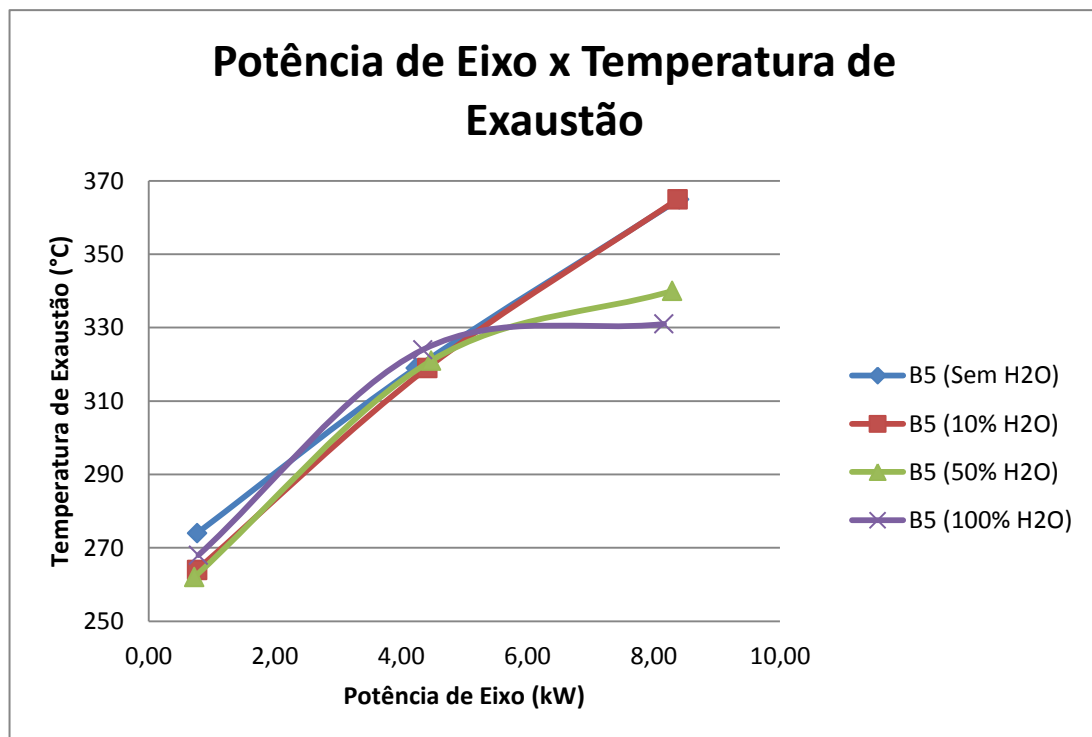


Figura 4.6 – Gráfico de potência de eixo por temperatura de exaustão

É interessante notar pelo gráfico que em baixas cargas a quantidade de 10% de água já é suficiente para diminuir a temperatura, não necessitando um maior gasto.

## 4.3 EMISSÕES

Os principais poluente automotores analisados foram o HC, CO, CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>. Os dados coletados estão no Apêndice 7.2.

### 4.3.1 HIDROCARBONETOS

As quantidades de hidrocarbonetos presentes nas amostram mostraram bastante coerência com a teoria. Uma vez que se tem um pequeno resfriamento do ar na câmara de combustão pode-se notar (Figura 4.7) que há uma redução dos níveis de hidrocarbonetos, por se trabalhar com misturas mais pobres. Porém quando este nível de resfriamento é elevado, se tem um atraso na ignição, uma vez que o atraso de ignição está diretamente ligado a temperatura de vaporização das gotas de combustível, e então os níveis de hidrocarbonetos se elevaram.

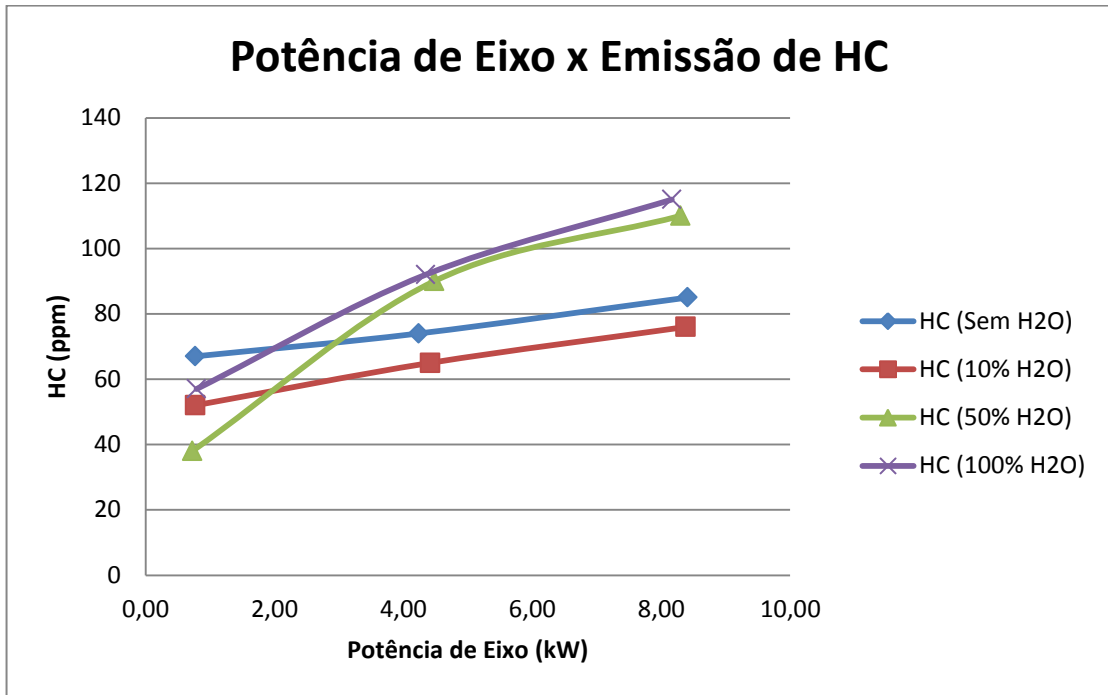


Figura 4.7 – Potência de eixo por emissão de hidrocarbonetos utilizando B5

#### 4.3.2 MONÓXIDO DE CARBONO

As emissões de CO são controladas basicamente pela relação ar/combustível como dito anteriormente, desta forma observa-se no gráfico a seguir valores baixos de emissões. Isso se deve ao fato dos motores diesel já trabalharem com misturas pobres, podendo se verificar uma redução ainda maior das amostras com injeção de água, exceto para o nível de 100%, onde ocorre um aumento no consumo de combustível mais significativo, diminuindo a relação ar/combustível.

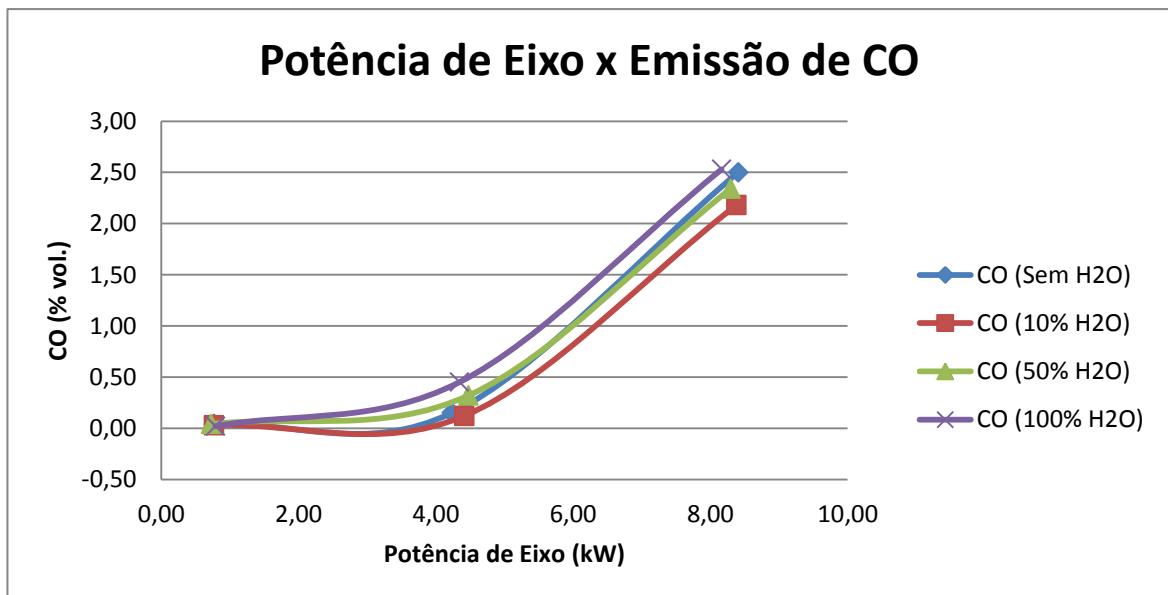


Figura 4.8 – Gráfico Potência de eixo por emissões de monóxido de carbono utilizando B5



### 4.3.3 DIÓXIDO DE CARBONO

A partir do gráfico abaixo de dióxido de carbono produzido podemos observar que as amostras não sofrem mudanças significativas em relação às quantidades produzidas. Desta forma, a água não interfere nas emissões de CO<sub>2</sub>, observando a não dissociação das moléculas de oxigênio presentes na água.

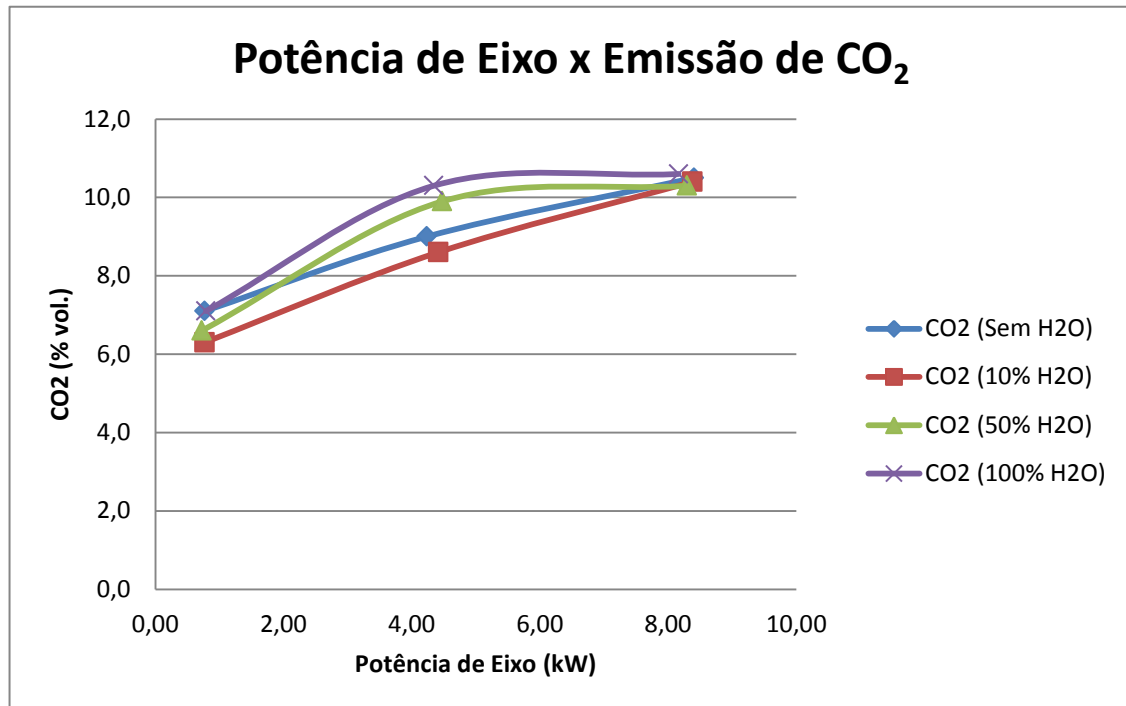


Figura 4.9 – Gráfico de potência de eixo por emissões de CO<sub>2</sub> utilizando B5

### 4.3.4 OXIDOS DE NITROGÊNIO

As amostras coletadas de gases foram analisadas em um espectrômetro que geraram espectros características dos gases. Por não possuir um padrão de gases para quantificação das amostras, foi gerado por uma reação de Sn(Citrato)<sub>2</sub> + Ácido Nítrico HNO<sub>3</sub> → Sn<sup>+4</sup> + NO<sub>x</sub> + H<sub>2</sub>O, onde esta reação é utilizada para a obtenção de nanopartícula de SnO<sub>2</sub> segundo *Pechini's Method*, o NO<sub>x</sub> que utilizamos para encontrar a banda características destes gases. Pode-se se ver na figura o espectro gerado pelos gases coletados, e identificar a banda de NO<sub>x</sub>.

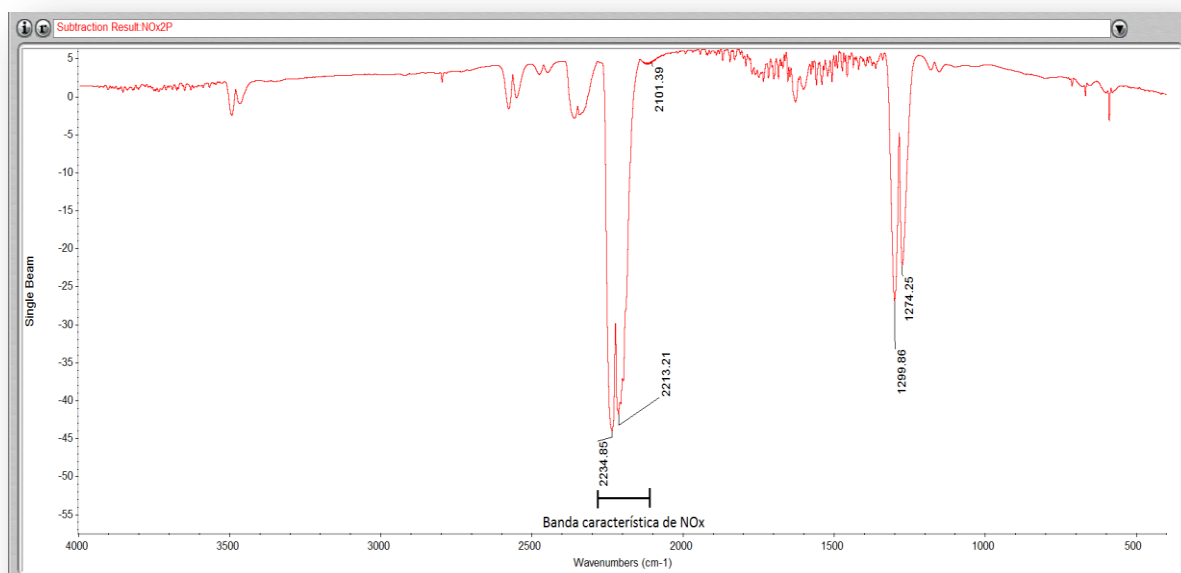


Figura 4.10 – Espectro dos gases gerados pela reação química para obtenção de nanopartículas segundo *Pechini's Method*

A partir da identificação da banda de NOx, as amostras foram analisadas semi-quantitativamente.

As curvas a seguir mostram, utilizando o *software* OMINIC™, os espectros das amostras de B5 com 10%, 50%, 100% e sem adição de água.

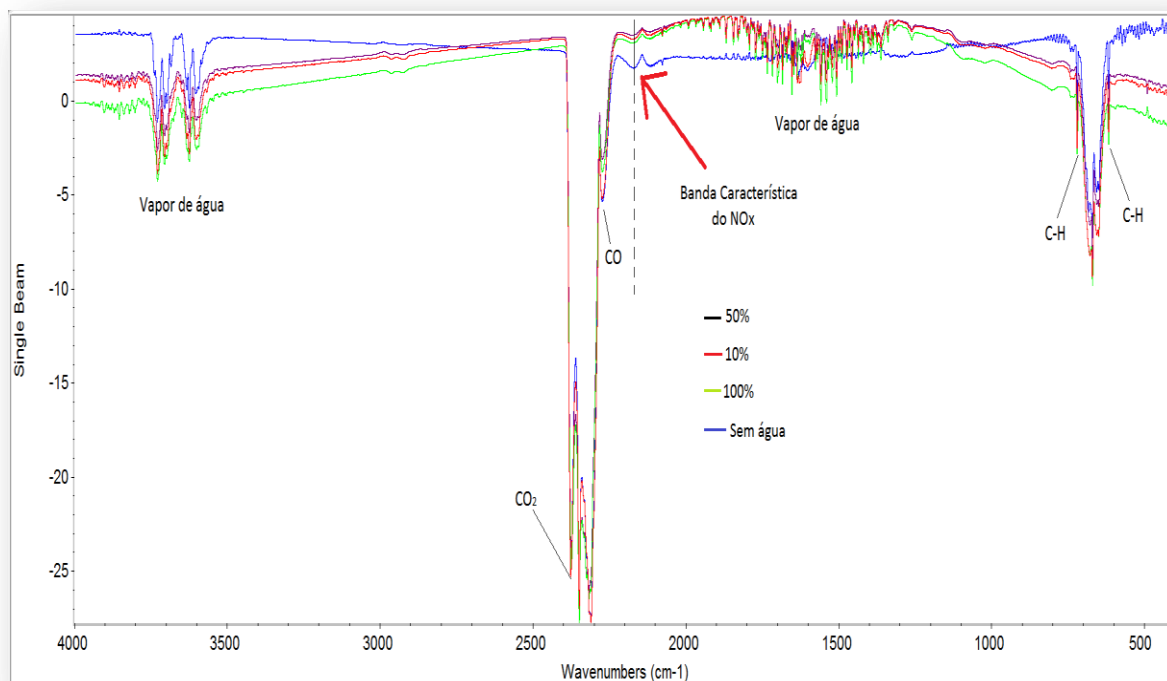


Figura 4.11 – Espectro das amostras de 1kW de potência

Pode-se observar que as amostras possuem os demais gases analisados pelo outro método, confirmando assim os resultados obtidos pelo analisador de gases de motores convencional.

Para melhor visualização foi ampliada a seção característica correspondente a banda de intensidade do NOx, para as três cargas amostradas, sendo 1, 6 e 11 kW de potência de eixo, respectivamente.

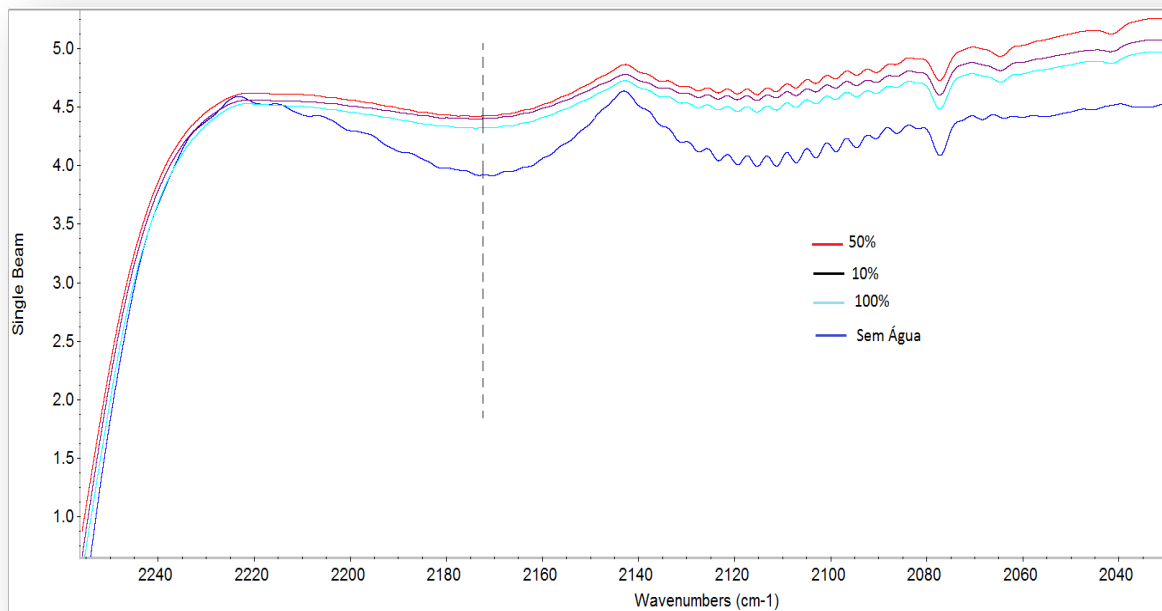


Figura 4.12– Ampliação do Espectro 1kW na banda de intensidade dos gases NOx

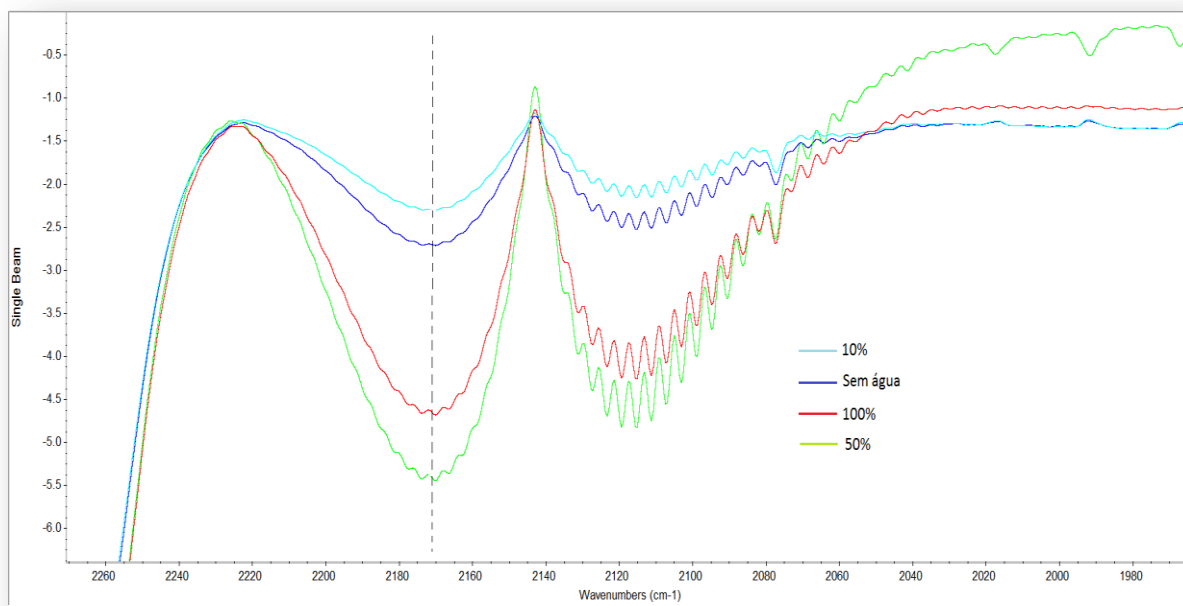


Figura 4.13 – Ampliação do espectro 6kW na banda de intensidade dos gases NOx

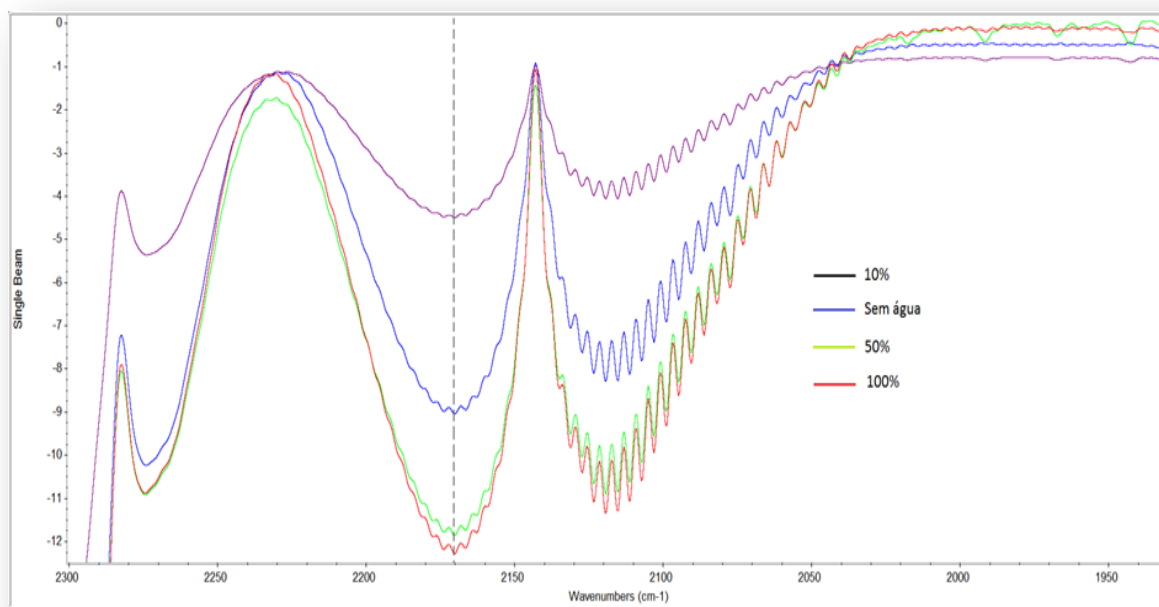


Figura 4.14 – Ampliação do espectro 11kW na banda de intensidade dos gases NOx

Observando os gráficos nota-se que a porcentagem de água injetada não é determinante para a redução de óxidos de nitrogênio. Desta forma, olhando a tabela abaixo com a quantidade de água está crescente, pode-se ver que existe uma faixa em que está quantidade de água é sempre positiva para redução de NOx.

Tabela 4.2 – Quantidade de água injetada

Quantidade de Água injetada (kg/h)	Potência	Razão água/diesel
0.156	1 kW	10%
0.234	6 kW	10%
0.434	11 kW	10%
0.782	1 kW	50%
1.157	1 kW	100%
1.173	6 kW	50%
2.173	11 kW	50%
2.347	6 kW	100%
4.346	11 kW	100%

A faixa da tabela em amarelo mostra as quantidades de água injetadas em que ocorreram redução de NOx. Assim, percebe-se que existe uma faixa em que esta quantidade é eficaz, confirmando trabalhos anteriormente feitos, onde essa quantidade é proporcional não somente ao consumo mas também ao tamanho da câmara de combustão.

Para as misturas B20 analisadas, essas obtiveram os mesmos aspectos do espectro. Uma consideração importante é notar (fig. 4.14) que como o consumo específico do biodiesel B20 reduziu, as quantidades de NOx também reduziram, se igualando para as cargas de 1 e 6 kW, e chegando a reduzir para a carga de 11 kW.

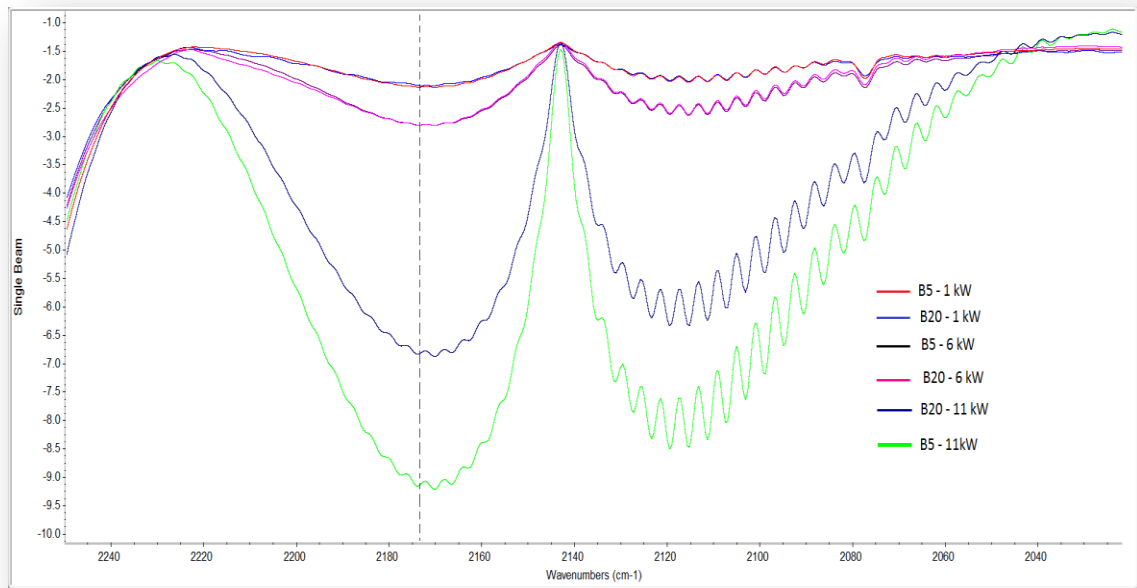


Figura 4.15 – Espectro de comparação entre B5 e B20

## 5 CONCLUSÃO

O uso da água, por ser de fácil acesso e de baixo custo, juntamente com a aparelhagem para a injeção com custo reduzido, torna o processo de injeção de água no coletor de admissão uma alternativa bastante viável. A necessidade de redução de emissões de poluente como o NOx e processos mais eficientes, o presente estudo mostraram a viabilidade do sistema, uma vez que se pôde reduzir os níveis de emissões e ainda reduzir o consumo específico.

A avaliação do biocombustível produzido a partir de óleo de fritura se fez satisfatória, conseguindo bons resultados de ordem tecnológica, sem contar os resultados em nível social que estes biocombustíveis trazem.

Para trabalhos futuros, sugere-se a quantificação das amostras de NOx para uma análise mais detalhada dos gases, e a realização de maior número de variações de quantidade de água dentro da faixa vista no trabalho como ótima. Sendo possível assim uma regulação da quantidade de água injetada diretamente relacionada com a injeção de combustível.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Legislação e Normas sobre Biodiesel**. 2005. Disponível em: <[http://Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 2, n. 1, p. 49-53, 2012. Disponível em <www.biodiesel.gov.br/legislacao.html>](http://Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 2, n. 1, p. 49-53, 2012. Disponível em <www.biodiesel.gov.br/legislacao.html>.)>. Acesso em: 15 de dezembro de 2012

BRAGA, A.L.F.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N. (2002). **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana**. In: COM CIÊNCIA. Cidades. Disponível em <<http://www.comciencia.br/reportagens/cidades/cid11.htm>>. Acesso em: 17 de novembro de 2012

DANESI, E. J.; ALMEIDA JR., J. E. D. Estudo Experimental da Queima de Biodiesel e Álcool em Motores Diesel no Modo Duplo Combustível. Brasília, DF. 2005.

EMBRAPA, 2005, **Plano Nacional de Agroenergia 2006** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Brasília, DF.

Instituto PNBE de Desenvolvimento Social - **Programa Bióleo Duplamente Sustentável**. Projeto Brasil 2022. Disponível em < <http://www.institutopnbe.org.br> > , São Paulo, Brasil 2008. Acesso em: 05 de janeiro de 2013.

GREEVES, G.; KHAN, I. M.; ONION G. Effects of Water Introduction on Diesel Engine Combustion and Emissions. **16th International Symposium on Combustion**. Londres, 1976.

HSU, B. D. **Practical diesel-engine combustion analysis**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, c2002. xi, 147 p.

M. PECHINI, US Patent N° 3330697 (1967)

**Manual PROCONVE/PROMOT/IBAMA**, 3a ed. — Brasília: Ibama/Diqua, 2011. 584 p. Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes — Gestão Ambiental, n.º 3.

MAZIERO, J. V. G.;CORREA, I. M.;TRIELLI, M. A.;BERNARDI, J. A.;D’ALGOSTINE, M. F. **Avaliação de emissões poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de girassol como combustível**. Engenharia na agricultura, Viçosa, Brasil, 2006.

NOLETO, M. G. **Avaliação energético-ambiental de biocombustíveis aplicados a motores diesel**. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, ENM. DM.161ª/2011, Brasília, DF, 80p.

OBERT, E. F. **Internal Combustion Engines Analysis and Practice**, c.1950 by International Tex, 1971.

PARENTE, E. J. D. S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Disponível em <[http://www.4shared.com/get/4dVTEI4J/BIODIESEL\\_-\\_Uma\\_aventura\\_tecno.html](http://www.4shared.com/get/4dVTEI4J/BIODIESEL_-_Uma_aventura_tecno.html)>, 2003. Acesso em: 22 de dezembro de 2012.

**Plano Nacional de Energia 2030.** Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007.

SILVA, G. V. et al. **A Sustentabilidade Ambiental de Uma Planta Piloto para Fabricação de Biodiesel a Partir de Óleo de Fritura Estudo de Caso: UNB/FGA (GAMA-DF)**, 2010. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/51471763/A-Sustentabilidade-Ambiental-de-Uma-Planta-Piloto-para-Fabricacao-de-Biodiesel-a-Partir-de-oleo-de-Fritura-Etudo-de-Caso>>. Acesso em: 23 de novembro de 2012.

SILVA, J. Lima. **Implementação de um Sistema de Controle para um Banco de Ensaios em Motores de Combustão Interna.** Dissertação de Mestrado, Publicação ENM. DM 138A/2009, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 106p.

SZWARCFITER, L. **Opções para o aprimoramento do controle de emissões de poluentes atmosféricos por veículos leves no Brasil: uma avaliação do potencial de programas de inspeção e manutenção e de renovação acelerada da frota.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Brasil. 2004

TAUZIA, X; MAIBOOM, A; SHAH, S. R.; **Experimental study of inlet manifold water injection on combustion and emissions of an automotive direct injection Diesel engine.** Laboratoire de Mécanique des Fluides, France, 2010.

TAYLOR, C. F. 1894. **Análise dos motores de combustão interna;** tradutor: Mauro Ormeu C. Amorelli. São Paulo, Edgard Blücher, Ed. da USP, 1971-1976. 2v. ilustrado.

TESFA, B; MISHRA, R. F. G.; BALL A. D.; **Water injection effects on the performance and emission characteristics of a CI engine operating with biodiesel.** University of Huddersfield, 2011.



# 7 APÊNDICE

## 7.1 PERFORMANCE

Tabela 7.1- Características de performance

Performance							
Carga (kW)	RPM	Potência de Eixo (kW)	Temperatura Exaustão (°C)	Consumo Médio (kg/h)	Consumo Específico (g/kWh)	Redução/Aumento de consumo	
Sem H2O							
1.0	1796.4	0.77	274	1.664	2171.429		
6.0	1785.6	4.23	319	2.632	621.775		
11.0	1744.2	8.41	365	4.007	476.776		
Com H2O (10%)							
1.0	1818.0	0.77	264	1.532	1998.434	0.9203	
6.0	1785.6	4.41	319	2.425	549.497	0.8838	
11.0	1734.0	8.38	365	4.046	482.838	1.0127	
Com H2O (50%)							
1.0	1807.2	0.72	262	1.426	1972.603	0.9084	
6.0	1764.6	4.48	321	2.643	590.443	0.9496	
11.0	1784.4	8.30	340	4.243	511.440	1.0727	
Com H2O (100%)							
1.0	1807.2	0.79	268	1.840	2334.094	1.075	
6.0	1764.6	4.34	324	2.609	600.732	0.966	
11.0	1734.0	8.16	331	4.890	599.008	1.256	

## 7.2 EMISSÕES

Tabela 7.2 – Emissões características do ensaio

Emissões			
Carga	CO (% vol.)	CO2 (% vol.)	HC (ppm)
Sem H2O			
1.0	0.04	7.1	67
6.0	0.15	9.0	74
11.0	2.50	10.5	85

Com H2O (10%)			
1.0	0.03	6.3	52
6.0	0.12	8.6	65
11.0	2.18	10.4	76

Com H2O (50%)			
1.0	0.04	6.6	38
6.0	0.32	9.9	90
11.0	2.34	10.3	110

Com H2O (100%)			
1.0	0.02	7.1	57
6.0	0.45	10.3	92
11.0	2.53	10.6	115

## 7.3 QUANTIDADE DE ÁGUA

Tabela 7.3 – Quantidade de água injetada em função do consumo

Carga	Consumo Médio (kg/h)	Injeção de Água (Kg/h)		
		10%	50%	100%
1.0	1.565	0.156	0.782	1.565
6.0	2.347	0.234	1.173	2.347
11.0	4.346	0.434	2.173	4.346

## 7.4 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

Projeto de graduação I					Projeto de graduação II				
Atividades	1º Mês	2º Mês	3º Mês	4º Mês	Atividades	1º Mês	2º Mês	3º Mês	4º Mês
Revisão Bibliográfica	✓	✓	✓		Produção de biodiesel	X			
Visita a microusina FGA-UnB		✓			Controle de qualidade	X			
Seleção dos equipamentos		✓			Montagem do injetor de água		X		
Revisão/Montagem moto-gerador			✓	✓	Teste das misturas sem injeção de água		X		
Projeto parcial			✓	✓	Teste das misturas com injeção de água			X	
					Análise de NOx e gases Poluentes		X	X	
					Análise dos resultados e projeto final			X	X

## 8 ANEXO

Tabela 8.1 - Características físico-químicas do diesel (B5) e biodiesel de soja (B100).

<b>Propriedade</b>	<b>B5</b>	<b>B100 SME*</b>
<b>Densidade a 15°C (kg/m<sup>3</sup>)</b>	840,1	884,4
<b>Viscosidade a 40°C (mm<sup>2</sup>/s)</b>	3,141	3,958
<b>Estabilidade de oxidação (g/m<sup>3</sup>)</b>	0,1	1,2
<b>Número de cetanos</b>	51,8	48
<b>Poder calorífero (MJ/kg)</b>	43,1	37,25
<b>Ponto de fulgor °C</b>	36	120

SME – Biodiesel de soja