



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FAEN - FACULDADE DAS ENGENHARIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA



KELLY CRISTINA COSTA CAMARGO

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO E EMISSÃO DE POLUENTES DE UM
MOTOR A DIESEL UTILIZANDO BIODIESEL DE SOJA**

Dourados - MS

2017

KELLY CRISTINA COSTA CAMARGO

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO E EMISSÃO DE POLUENTES DE UM
MOTOR A DIESEL UTILIZANDO BIODIESEL DE SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia. Faculdade de Engenharia. Universidade Federal da Grande Dourados.

Orientador: Prof. Dr. Ramón Eduardo Pereira Silva

DOURADOS – MS

2017

Kelly Cristina Costa Camargo

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO E EMISSÃO DE POLUENTES DE UM
MOTOR A DIESEL UTILIZANDO BIODIESEL DE SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia de Energia na Universidade Federal da Grande Dourados, pela
comissão formada por:

Orientador: Prof. Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva

FAEN- UFGD

Prof. Dr. Antonio Carlos Caetano de Souza

FAEN- UFGD

Prof. Dr. Fernando Augusto Alves Mendes

FAEN- UFGD

Dourados, de Agosto de 2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus pelo dom da vida e por me guiar, iluminar e me abençoar todos os dias.

Aos meus pais, José Carlos e Elizabete, que me deram todo o amor, incentivo e a base necessária, sempre acreditando no meu potencial e na minha capacidade e investindo nos meus estudos. Sendo eles os meus maiores exemplo de vida, que me apoiaram e me aconselharam nos momentos mais difíceis, que acreditaram em mim quando nem eu mesma acreditava, fazendo assim com que esse sonho se tornasse realidade.

A meu irmão, Carlos Henrique, que mesmo com os desentendimentos sempre esteve presente comigo.

Ao meu namorado Maicon, que sempre me apoiou e me ajudou durante toda a minha graduação, sempre acreditando em mim e me incentivando a dar o meu melhor.

A minha amiga Paula Ohana que esteve presente durante a minha infância e durante a minha graduação sempre me incentivou e acreditou em mim.

As minhas amigas e colegas de graduação Gabriela, Julia, Talita e Tatiane que me acompanharam durante todo esse período me apoiando, me incentivando, me aconselhando me divertindo, proporcionando as melhores noites de estudos e as melhores companheiras de faculdade. Agradeço principalmente, pelo aprendizado, pela convivência que tanto auxiliou no meu amadurecimento, que passaram pela mesma experiência, fazendo com que entendessem as dificuldades e assim pudessem ajudar, elas que nos grupos de estudos compartilharam os conhecimentos e agüentaram todos os interferis da faculdade.

Agradeço a todos os meus amigos que durante esses anos de faculdade foram minha segunda família, dividindo sonhos, sorrisos, lanches e lágrimas.

Ao meu orientador, Professor Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva, por ter aceitado me orientar, por toda a colaboração, paciência e conhecimentos repassados durante todo o desenvolvimento desse trabalho.

Aos técnicos José Carlos Venturin e David Correia, que sempre me ajudaram em todas as aulas práticas e em tudo que envolvia os laboratórios.

Ao técnico Sérgio Antônio que me auxiliou durante toda a parte experimental desse trabalho, podendo assim me ajudar a concluí-lo.

A Universidade Federal da Grande Dourados e a todo corpo docente que me proporcionou o conhecimento necessário, eles que são à base desse país, sempre buscando o aperfeiçoamento para melhor nos ensinar. Sem eles nada disso seria possível.

A todos os meus familiares pelo apoio e carinho. Vocês tornam a minha caminhada mais agradável e feliz.

E a todos que contribuíram de alguma forma com a realização desse trabalho.

“Não importa onde você parou... em que momento da vida você cansou... o que importa é que sempre é possível, é necessário "recomeçar" Recomeçar é renovar as esperanças na vida e, o mais importante... acreditar em você de novo. Sofreu muito neste período? Foi limpeza da alma... Ficou com raiva das pessoas? Foi para perdoá-las um dia... Sentiu-se só por diversas vezes? É porque fechaste a porta até para os anjos... Acreditou que tudo estava perdido? Era o início de tua melhora. Aonde você quer chegar? Ir alto? Sonhe alto... queira o melhor do melhor... Se pensamos pequeno... coisas pequenas teremos... Mas se desejarmos fortemente o melhor e principalmente lutarmos pelo melhor... O melhor vai se instalar em nossa vida. Porque sou do tamanho daquilo que vejo, e não do tamanho da minha altura”.

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

O intuito deste trabalho é avaliar o desempenho de um motor de ciclo diesel quatro tempos e dois cilindros utilizando misturas de óleo diesel com biodiesel de óleo de soja, em comparação ao diesel sem mistura. Foram analisados os parâmetros: potência efetiva, torque, consumo específico, rendimento térmico e emissão de poluentes. Os testes mostraram que não houve alterações significativas na operação do motogerador. O estudo mostrou, também, que houve estabilidade da eficiência térmica e do consumo de combustível com a utilização de misturas mais ricas em biodiesel. As emissões de poluentes como o CO, NO_x e CH₄ decresceram com o aumento de teor de biodiesel na mistura.

Palavras chaves: *Combustível alternativo, eficiência energética, motor de combustão, biodiesel e diesel.*

ABSTRACT

This work aims to evaluate the performance of a four-cycle, two-cycle diesel cycle engine using blends of biodiesel from soybean oil compared to diesel oil. The following parameters were analyzed: effective power, torque, specific consumption, thermal efficiency and emission of pollutants. The tests showed that there were no significant changes in the operation of the motor generator. The study also showed that there was stability of thermal efficiency and fuel consumption with the use of mixtures richer in biodiesel. Emissions of pollutants decreased with increasing biodiesel content in the blend.

Keywords: *Alternative fuel, energy efficiency, combustion engine, biodiesel and diesel.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Ilustração de um motor de combustão interna.	14
Figura 3.1: Conceito de geração distribuída.....	18
Figura 3.2: Produção e projeção do uso biodiesel no Brasil de 2011 a 2020.....	21
Figura 3.3: Projeção da produção de soja no Brasil até 2025.....	30
Figura 3.4: Efeito do biodiesel sobre as emissões associadas ao biodiesel.	37
Figura 5.1: Motogerador Gera Power Brasil GB3500.....	45
Figura 5.2: Equipamento de teste: Gerador a motor (a), Banco de resistência (b).....	46
Figura 5.3: Esquema da montagem experimental	47
Figura 5.4: Foto da montagem experimental.....	47
Figura 5.5: Instrumentos utilizados no experimento: Balança (a), Analisador de gases (b), Tacômetro digital (c), Alicates multímetro (d), Cronômetro (e) e Anemômetro (f).	48
Figura 6.1: Gráfico da comparação das Potências.....	55
Figura 6.2: Relação entre a Potência Efetiva e o Consumo Específico.....	56
Figura 6.3: Relação entre a Potência Efetiva e a Eficiência Global.....	57
Figura 6.4: Gráfico da Potência Efetiva pelo Torque.....	57
Figura 6.5: Potência Efetiva pela Pressão Média Efetiva.....	58
Figura 6.6: Emissão de NO_x	59
Figura 6.7: Emissão de CO	60
Figura 6.8: Emissão de CO_2	61
Figura 6.9: Emissão de CH_4	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Poder calorífico superior e inferior do biodiesel.....	31
Tabela 3.2: Viscosidade e densidade do Biodiesel.....	32
Tabela 5.1: Gerador	46
Tabela 5.2: Motor diesel	46
Tabela 5.3: Instrumentação.....	48
Tabela 5.4: Composição das misturas.	49
Tabela 6.1: Potência efetiva entregue.....	52
Tabela 6.2: Consumo específico de combustível (sfc)	52
Tabela 6.3: Poder calorífico superior (PCS) e Poder calorífico inferior (PCI).....	53
Tabela 6.4: Eficiência global.	53
Tabela 6.5: Torque.....	54
Tabela 6.6: Pressão Média Efetiva (MEP).....	54

SÍMBOLOS

A_p	Área do embolo de todos os pistões	(kW)
bme_p	Pressão média efetiva de frenagem	(kPa)
C	Teor de carbono no combustível	(kg carbono /kg combustível ⁻¹)
H	Teor de hidrogênio no combustível	(kg hidrogênio/ kg combustível ⁻¹)
m_a	Massa específica da mistura	(kg)
\dot{m}_f	Vazão mássica do combustível	(g/s)
mep	Pressão efetiva média	(kW/ dm ³ .rev/s)
n	Número de rotações por ciclo	
N	Velocidade do motor	(RPM)
N_r	Número de revoluções da manivela para o curso de energia por cilindro	
η_g	Eficiência global	(%)
O	Teor de oxigênio no combustível	(kg oxigênio/kg combustível ⁻¹)
ρ_a	Densidade do ar em condições atmosféricas no exterior do motor	(kg/m ³)
PCS	Poder calorífico superior	(kJ kg ⁻¹)
PCI	Poder calorífico inferior	(kJ.kg ⁻¹ de combustível)
S	Teor de enxofre no combustível	(kg enxofre/kg combustível ⁻¹)
SFC	Consumo específico de combustível	(g/kW)
T	Torque	(N. m Ou lbf. ft.)
V_d	Volume de deslocamento	(dm ³)
W	Trabalho	(kJ)
\dot{W}_i	Potência indicada	(kW)
\dot{W}_b	Potência de frenagem	(kW)

Sumário

1. OBJETIVO	13
1.1. OBJETIVO GERAL	13
1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	13
2. INTRODUÇÃO	14
2.1. EXPOSIÇÃO DO PROBLEMA	14
2.2. DIVISÃO DO TRABALHO	15
3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
3.1. GERAÇÃO DISTRIBUIDA.....	17
3.1.1. CONCEITO	18
3.1.2. UTILIZAÇÃO DE MOTOGERADORES EM GD.....	20
3.2. BIOCOMBUSTÍVEIS	22
3.2.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS BIOCOMBUSTÍVEIS	23
3.3. BIODIESEL.....	24
3.3.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BIODIESEL	25
3.3.2. MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DO BIODIESEL E CARACTERÍSTICAS DO MESMO.....	26
3.3.3. CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE BIODIESEL	34
3.3.4. EMISSÃO DE POLUENTES.....	34
4. DEFINIÇÕES TERMODINÂMICAS.....	38
5. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	45
5.1. INTRODUÇÃO AO EXPERIMENTO	45
5.2. DESCRIÇÃO DA BANCADA	45
5.3. PREPARAÇÃO DAS MISTURAS.....	49
5.4. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	49
6. RESULTADOS	51
7. CONCLUSÃO	63
8. TRABALHOS FUTUROS	64
9. REFERÊNCIAS.....	65
ANEXOS	72

1. OBJETIVO

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho e emissão de poluentes de misturas biodiesel de soja com diesel como combustível em um motogerador a diesel comparados ao diesel.

Realizar ensaios termodinâmicos Motogerador Gera Power Brasil GB3500 para gerar dados de desempenho;

Utilizar o analisador de gases para gerar os dados de emissão para poder comparar os mesmos entre si.

1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Com essa análise serão comparados os parâmetros termodinâmicos e as emissões dos principais poluentes que são o CO, CO₂, NO_x e CH₄ resultantes do processo de combustão.

2. INTRODUÇÃO

O motor de combustão é uma fonte de potência mecânica em que a mistura admitida (ar e combustível) é queimada no interior do cilindro e o calor liberado provoca a expansão dos gases. A pressão originada dessa expansão é recebida pelo êmbolo (pistão) contido no interior do cilindro e conectado, através da biela, à árvore de manivelas (virabrequim). O deslocamento alternativo do êmbolo ao longo do cilindro transforma-se em movimento de rotação por meio do mecanismo biela/manivela (SILVA, 2009).

Figura 2.1: Ilustração de um motor de combustão interna.



Fonte: FOGAÇA, 2015

2.1. EXPOSIÇÃO DO PROBLEMA

A proporção de biodiesel adicionada ao óleo diesel passou a ser de 6% a partir de julho e de 7% a partir de novembro de 2014, conforme a Lei nº 13.033/2014. (ANP, 2016)

Em 2015, a capacidade nominal para produção de biodiesel (B100) no Brasil era de cerca de 7,4 milhões de m³ (20,4 mil m³/dia). Entretanto, a produção nacional foi de 3,9 milhões de m³, o que correspondeu a 53,3% da capacidade total. Em comparação a 2014, a produção de biodiesel (B100) foi 15,1% maior. (ANP, 2016)

Devido à crise do petróleo nos anos 70 do século XX, o mundo despertou para a busca por formas alternativas de energia. No Brasil, a crise terminou com a criação do Proálcool nos anos 80 do século passado e outros programas de incentivo ao uso de combustíveis alternativos

como óleos vegetais, gasogênio, gás natural, biogás, etc. (BARBOSA, SILVA E SALVADOR, 2007).

Com o crescimento da demanda por combustíveis com tudo nos últimos anos, somada a dificuldade de expandir a infra-estrutura no país devido à limitada capacidade do parque de refino nacional, o abastecimento de combustíveis ao mercado brasileiro passa a se tornar uma preocupação, principalmente pela condição altamente estratégica deste setor. (RODRIGUES; WERNECK, 2016)

De acordo com Oliveira & Costa (2005), a implantação de um programa energético com biodiesel abre oportunidades para grandes benefícios sociais decorrentes do aumento do índice de geração de empregos por capital investido, culminando com a valorização do campo e a promoção do trabalhador rural, além das demandas por mão-de-obra qualificada para o processamento e, em muitos casos, beneficiamento do óleo vegetal. Reforça-se, entretanto, a reversão no fluxo internacional de capitais, uma vez que o aproveitamento do biodiesel permite uma redução das importações de diesel e a comercialização internacional de certificados de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa. (REVISTA ENERGIA NA AGRICULTURA, 2010).

A substituição do suplemento óleo diesel por bicompostíveis é a questão mais focada atualmente para suprir a escassez desse combustível e reduzir os níveis de emissão de poluentes gasosos. A autorização do uso de misturas com 2% de biodiesel (B2) pelo governo federal brasileiro foi o passo inicial para reduzir o uso de óleo diesel e desencadear ações de pesquisa sobre óleos vegetais. (URABIO, 2015).

2.2. DIVISÃO DO TRABALHO

Os principais objetivos do estudo, sendo eles, geral e específico são apresentados no início. A introdução inicia comentando sobre motores de combustão interna e a estrutura do trabalho.

O trabalho se inicia contextualizando Geração Distribuída (GD) e a importância dos motogeradores em regiões isoladas.

O capítulo 3 é o processo de busca, análise e descrição dos bicompostíveis, biodiesel e motores movidos a biodiesel. Ele possui subdivisões que abordam conceitos de princípios de funcionamento, características físico-químicas, características e o combustível em relação ao meio ambiente.

O capítulo 4 descreve os principais parâmetros usados para o desenvolvimento de uma planilha gerada no software Microsoft Excel para o motogerador em análise, tais como: eficiência mecânica, pressão média efetiva, torque, potência e consumo especificam do combustível. Esse capítulo tem como principal objetivo a descrição da análise termodinâmica realizada na planilha desenvolvida em software Microsoft Excel.

No capítulo 5 é feita a descrição do ensaio com o motorgerador. Foi descrita a bancada, e apresentada às especificações do motor utilizado nesse estudo os passos para realização dos ensaios, para que se entendesse como foi realizado o experimento. Com os dados experimentais foram calculado os parâmetros já descritos acima.

Esses parâmetros bem como os gráficos plotados usando o Software OriginPro 8 estão descritos no capítulo 6.

Na conclusão é feita uma síntese com as análises e comentários dos resultados obtidos nesse trabalho. Também são apresentadas sugestões para trabalhos futuros. Por fim as referências bibliográficas, e os anexos.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Nesse tópico serão abordados os conceitos de geração distribuída, motores a diesel, biodiesel bem como seu característico físico- químicas e as definições termodinâmicas utilizadas nos resultados.

3.1. GERAÇÃO DISTRIBUIDA

O uso da energia está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e industrial de um país ou região. Países como EUA, Japão e o continente europeu, que apresentam o maior desenvolvimento econômico são justamente aqueles que possuem os menores preços de energia e demandam os maiores consumos energéticos. Historicamente, a Revolução Industrial gerou uma mudança no uso da energia, impactando o preço de mercado. Outra mudança de paradigma ocorreu em 1973, quando a primeira crise do petróleo gerou uma necessidade de rever o mercado energético mundial. Não distante, em 2000, com a queda do preço do óleo e do gás natural, bem como, com o aumento do preço dessas fontes de energia, outras fontes passaram a ser consideradas no planejamento estratégico. Diferentes vetores energéticos passaram a ser maximizados no uso. (BARBOSA FILHO, 2014).

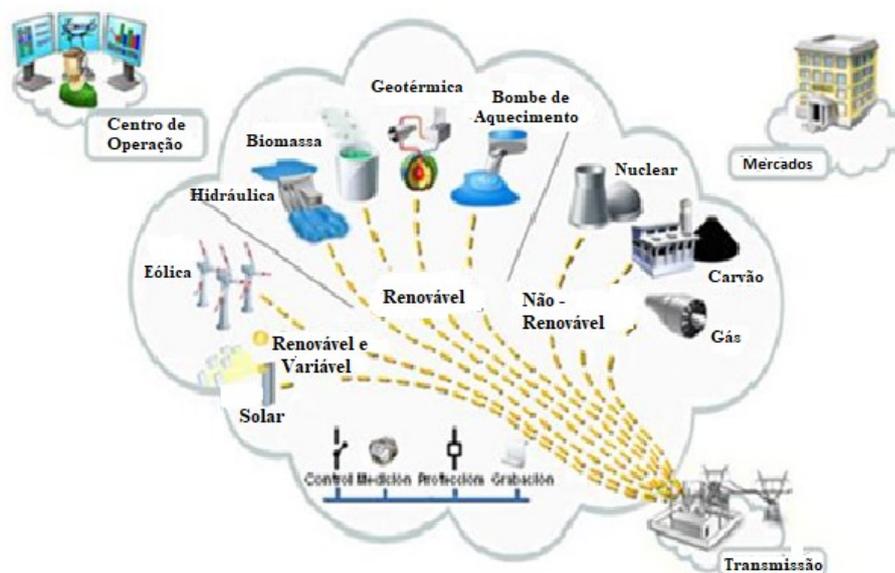
A maneira organizacional adotada pelo sistema elétrico e obedecida ao longo de sua história consiste em grandes centrais de geração e uma extensa rede de linhas de transmissão e distribuição, conhecida como geração centralizada de energia. Quando a demanda de energia aumenta, a resposta é um aumento da geração, porém quando a demanda excede os limites da capacidade do sistema, a solução adotada é sempre a construção de novas unidades de geração, e por derivação o aumento do transporte e distribuição dessa maior energia comercializada. O questionamento quanto a essa forma de planejar a expansão da oferta de eletricidade do setor elétrico, aliada a introdução no mercado de novas tecnologias que reduzem significativamente o custo da energia produzida, localizadas próximas dos centros de carga, traduz o conceito de GD (BARBOSA FILHO, 2014).

3.1.1. CONCEITO

A Geração distribuída é definida como o uso integrado ou isolado de recursos modulares de pequeno porte por concessionárias, consumidores e terceiros em aplicações que beneficiam o sistema elétrico e ou consumidores específicos. O termo tem sintonia com outras expressões normalmente usadas como: autogeração, geração *in situ*, cogeração e geração exclusiva (EPRI, 2009, apud, OLADE, 2011).

Geração Distribuída é a geração e armazenamento de energia elétrica em pequena escala, mais próximo ao centro de carga, com opção de interagir, ou seja, comprar ou vender com a rede, e, em alguns casos, considerando a máxima eficiência energética (OLADE, 2011), ou seja GD é a denominação genérica de um tipo de geração elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo assim para aumentar a distribuição geográfica da geração de energia elétrica em determinada região (COGEN, 2013). Podemos visualizar esse conceito na Figura 3.1, exposta a seguir.

Figura 3.1: Conceito de geração distribuída



Fonte: EPRI, 2009, apud OLADE, 2011.

A Geração Distribuída pode incluir (OLADE, 2011):

- Co-geradores
- Geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo;
- Geradores de emergência;
- Geradores para operação no horário de ponta;
- Painéis fotovoltaicos;
- Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs.

O conceito envolve, ainda, equipamentos de medida, controle e comando que articulam a operação dos geradores e o eventual controle de cargas (ligamento/desligamento) para que estas se adaptem à oferta de energia.(INEE, 2017).

A geração distribuída tem vantagem sobre a geração central, pois economiza investimentos em transmissão e reduz as perdas nestes sistemas, melhorando a estabilidade do serviço de energia elétrica.(INEE, 2017).

A geração elétrica perto do consumidor chegou a ser a regra na primeira metade do século XX, quando a energia industrial era praticamente toda gerada localmente. A partir da década de 40, no entanto, a geração em centrais de grande porte ficou mais barata, reduzindo o interesse dos consumidores pela GD e, como consequência, o desenvolvimento tecnológico para incentivar esse tipo de geração também diminuiu. (INEE, 2017).

As crises do petróleo introduziram fatores que mudaram irreversivelmente este panorama, revelando a importância, por exemplo, da economia de escopo obtida na co-geração. A partir da década de 90, a reforma do setor elétrico brasileiro permitiu a competição no serviço de energia, criando a concorrência e estimulando todos os potenciais elétricos com custos competitivos. Com o fim do monopólio da geração elétrica, em meados dos anos 80, o desenvolvimento de tecnologias voltou a ser incentivado com visíveis resultados na redução de custos (INEE, 2017).

O crescimento da GD nos próximos anos parece inexorável e alguns autores fazem uma analogia com o crescimento do micro-computador com relação aos grandes computadores centrais ("main frames") (INEE, 2017).

Em 2004, ocorre um grande avanço quando a GD é mencionada na Lei 10.848/04 como uma das possíveis fontes de geração de energia. O detalhamento do Decreto 5.163/04 fornece características que ajudarão as empresas distribuidoras, que até então se opunham a esta forma de geração, a enxergarem na GD uma das formas de mitigar riscos de planejamento (INEE, 2017).

3.1.2. UTILIZAÇÃO DE MOTOGERADORES EM GD.

O diesel é um combustível fóssil não renovável derivado do petróleo, fonte de gases poluidores o qual representam uma ameaça ao meio ambiente, como por exemplo, poluição no ar, emitindo gases com CO, NO_xentre outros.

Em um mercado cada vez mais globalizado e competitivo, a responsabilidade socioambiental tornou-se instrumento fundamental para qualquer tipo de negócio. Portanto, o alto custo e as constantes elevações dos preços da energia elétrica no Brasil,são as razões principais para o desenvolvimento do presente estudo monográfico, dando enfoque ao horário de ponta, período este em que o sistema transmissão de energia elétrica encontra-se sobrecarregado (ANEEL, 2010).

De acordo com o artigo referente ao 3º Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás(GONÇALVES FILHO; GARBELINI; IZYCKI, 2014):

“O elevado custo da energia no horário de ponta tem como intuito minimizar o consumo em tal horário e resguardar o sistema de geração e transmissão de picos de potência.Cabe às concessionárias de força e luz definir o horário em que este intervalo de três horas é valido. O custo da energiano horário de

ponta é tão elevado que justifica mesmo a autoprodução Diesel”.

A escolha do óleo diesel como combustível para o Grupo Moto Gerador - GMG se deve ao fato de ele ser o combustível mais utilizado no país, tendo inúmeros postos de distribuição e um baixo custo, se considerado aos demais combustíveis do mercado.

Segundo a PETROBRAS (2013), para atender o suprimento do mercado nacional de derivados, com qualidade requerida e com custos competitivos, a Petrobras opera suas refinarias priorizando a produção de diesel. A análise técnica, para o desenvolvimento do projeto do GMG a Óleo Diesel será desenvolvida através do levantamento "in loco" para verificação de disponibilidade física e compatibilidade do sistema elétrico existente.

A Lei federal 11.097/2005 que introduziu o biodiesel determinou aumento consecutivo na mistura com o diesel e atualmente o percentual é da ordem 8% (B8). A Figura 3.2 ilustra a evolução dos últimos anos produção do biodiesel no Brasil.

Figura 3.2: Produção e projeção do uso biodiesel no Brasil de 2011 a 2020



Fonte: (MME, 2015)

Em 2014 registrou-se 3.420 mil m³/ano, porém verificou-se a existência de uma capacidade ociosa muito grande, pois o parque industrial instalado na ordem de 59 usinas registrou-se 7.502 mil m³/ano no mesmo período (MME, 2015).

Desde 2008, início da obrigatoriedade da mistura, o programa sempre foi dependente da soja. Em 2014, representou 76,9%, seguidos de sebo bovino (19,8%), o algodão (2,2%) e outros materiais graxos (1,1%) (MME, 2015).

3.2. BIOCOMBUSTÍVEIS

Os biocombustíveis são fontes de energia renováveis, que podem ser obtidos através de biomassas feitas com compostos orgânicos de origem animal e vegetal. Os produtos mais utilizados na produção são a cana-de-açúcar, beterraba, dendê, semente de girassol, milho, mamona, lenha, excrementos de animais, resíduos agrícolas, dentre outros (KERDNA, 2010).

Essas plantas, frutos e sementes geram um óleo que é usado em sua forma pura ou misturado aos combustíveis fósseis existentes. No Brasil, o etanol é misturado à gasolina e o diesel recebe a adição de biocombustíveis. Os mais utilizados são: biodiesel, etanol, biogás, óleo vegetal, e E85 (mistura de 85% de etanol e 15% de gasolina)(KERDNA, 2010).

Essa fonte de energia tem sido bastante difundida no mundo, pois é vista como uma forma de redução nos danos causados pelo aquecimento global. Isso só é possível, porque os biocombustíveis ajudam a absorver pelo ciclo do carbono o gás carbônico (CO₂).

O CO₂ liberado pelos veículos é absorvido pelas plantas para que se produza mais biomassa, num processo chamado fotossíntese. Como há um equilíbrio entre o que é liberado e o que é consumido, os danos ao meio ambiente são menores.

Com os combustíveis não renováveis, esse processo não acontece por causa dos milhares de anos que esses resíduos ficaram acumulados na Terra. O petróleo, por exemplo, é o resultado do acúmulo de material orgânico. Quando ele é queimado, libera gás carbônico de milhares de anos; porém, não há nenhum mecanismo existente atualmente que possa capturá-lo e por isso ele fica concentrado na atmosfera terrestre (KERDNA, 2010).

Essa energia renovável não pode substituir totalmente a gasolina principalmente devido ao fato de sua matéria-prima demandar a utilização de terras para produção agrícola. A verdade é que os biocombustíveis são vistos como mais uma alternativa de recurso energético mundial e não um substituto para os recursos fósseis. (KERDINA, 2010).

3.2.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

Além de permitirem reduzir a dependência energética em relação aos combustíveis fósseis, os biocombustíveis são produzidos a partir de plantas que absorvem CO₂ e permitem a produção de combustíveis que não emitem gases com efeito de estufa, os principais responsáveis pelo aquecimento global. Algumas vantagens dos mesmos são expostas a seguir:(ENERGIA, 2012).

- Ajuda a estabilizar a quantidade de gás carbônico presente na atmosfera. Esse fator auxilia na redução dos danos causados pelo aquecimento global;
- O Brasil possui muito potencial para a produção das plantas usadas para fazer o biocombustível;
- Oferta de empregos nas regiões rurais promovendo a inclusão social e a criação de postos de trabalho;
- Podem ser produtos mais seguros para armazenagem, transporte e manuseio;
- Redução das importações de petróleo;
- Menos lançamento de gases que aumentam o Efeito Estufa;
- A produção de matéria-prima pode ser controlada porque se há uma grande demanda, pode-se plantar, mais e isso não ocorrer, o produtor pode plantar menos;

Apesar das vantagens apontadas, a utilização de biocombustíveis é um tema controverso. Em primeiro lugar, porque a produção de biocombustíveis consome muita energia e baseia-se em culturas intensivas, que produzem um gás com efeito de estufa, o óxido de nitrogênio, que

também tem efeitos no aquecimento global. Algumas das suas desvantagens estão a seguir:(ENERGIA, 2012).

- Redução das áreas florestais para plantar as matérias-primas para produzir esse tipo de combustível;
- Utilização maior dos recursos hídricos mundiais;
- Risco de contaminação do solo e do ar com o uso indiscriminado de fertilizantes nas plantações;
- Direcionamento de certos produtos que seriam usados na alimentação para a fabricação de combustível.
- Os consumidores são obrigados a dividir os alimentos que consomem com essa produção e o preço pode sofrer alterações de acordo com a demanda do setor. No Brasil, alguns produtores substituíram a produção de alimentos como a laranja, a cenoura e a batata para produzir biodiesel e etanol.

3.3. BIODIESEL

O Biodiesel é um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, sucedâneo ao óleo diesel mineral, 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 2005).

Como combustível, o biodiesel possui características vantajosas em relação aos combustíveis derivados do petróleo, podendo ser citada a condição de ser virtualmente livre de enxofre e de compostos aromáticos; alto número de cetano; teor médio de oxigênio; maior ponto de fulgor; menor emissão de partículas, HC, CO e de CO₂; caráter não tóxico e biodegradável, além de ser proveniente de fontes renováveis. Ele permite que se estabeleça um ciclo fechado de carbono no qual o CO₂ é absorvido quando a planta cresce e é liberado quando o mesmo é queimado na combustão do motor (BARBOSA, 2007).

O biodiesel melhora a lubrificidade do combustível quando misturado ao diesel, com aumento na durabilidade da bomba injetora convencional, o que permite trás evidentes benefícios ambientais, pois há redução do enxofre no diesel. Essas são qualidades importantes e elas despertaram a atenção de muitos países. Hoje existem programas de mistura, em geral, apoiados em fortes desagravos fiscais. (BARBOSA, 2007).

Estudo realizado pelos Departamentos de Energia e de Agricultura dos Estados Unidos mostra que o biodiesel reduz em 78% as emissões líquidas de CO₂. Com isso, produzido a partir de fontes renováveis tais como óleos vegetais (girassol, amendoim, algodão, soja, mamona, etc.), gorduras animais e óleos de frituras, o biodiesel surge como uma opção de substituição do diesel mineral nos motores de combustão por compressão (PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL, 2005).

Em vista das várias possibilidades de obtenção de matéria-prima citadas acima para a produção de biodiesel, o Brasil destaca-se no panorama mundial como potencial fornecedor de biodiesel. Qualquer que seja, porém, a matéria-prima utilizada é importante estudar suas características físico-químicas e seu efeito no desempenho mecânico do motor, e a justificativa desse trabalho são desenvolver material a ser adicionado ao início do estudo que tem sido realizado no país em relação à utilização deste combustível em motores a diesel.

3.3.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BIODIESEL

VANTAGENS (ENERGIA, 2012).

- É uma fonte de energia renovável. Sua matéria-prima pode vir de uma grande variedade de oleaginosas;
- Sua obtenção e sua queima não contribuem para a emissão de CO₂ na atmosfera;
- Sua armazenagem é mais segura, pois o biodiesel possui um alto ponto de fulgor (ponto de inflamação). É necessária uma fonte de calor por volta de 150°C para explodir;
- O biodiesel é um ótimo lubrificante e pode aumentar a vida útil do motor;

- Os motores funcionam normalmente, sem precisar de modificação.
- Sua produção é mais barata do que a do petróleo, levando em consideração, os gastos com desenvolvimento de tecnologia e perfuração de poços.

DESVANTAGENS (ENERGIA, 2012).

Dentre as desvantagens estão presentes:

- Cristalização em baixas temperaturas, sua viscosidade aumenta bastante;
- Emissões altas de Oxido de Nitrogênio;
- Grande quantidade de glicerina obtida na sua produção;
- Possível desmatamento de florestas para plantação de oleaginosas;
- Gera uma alta no preço dos alimentos.

3.3.2. MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DO BIODIESEL E CARACTERÍSTICAS DO MESMO

Conjuntamente com o etanol, os óleos vegetais compõem as principais fontes para obtenção de bicomcombustíveis. A tecnologia de produção de óleo diesel vegetal, por meio do processo de transesterificação metanólica, é conhecida e aplicada industrialmente, em diversos países.

No caso do Brasil, há necessidades de ajustes e adaptações para o uso do etanol como fornecedor do grupo éster que substitui a glicerina do complexo de triglicéridos. A partir de óleos vegetais, por essa rota tecnológica, é possível obter o biodiesel, com potencial energético equivalente ao petrodiesel, tendo como subproduto a glicerina. (PERES; FREITAS JUNIOR; GAZZONI, 2005):

Prevê-se um crescimento exponencial do mercado de bicomcombustíveis derivados de óleos vegetais pelas mesmas razões que impulsionarão a demanda por etanol, embora com um diferencial de tempo. Entretanto, as projeções em longo prazo apontam para um cenário em que o mercado de óleos combustíveis será superior ao de etanol, em especial pela sua maior densidade energética. Além das vantagens no uso em veículos de transporte e em outras aplicações pesadas,

a maior densidade energética reduz o peso do frete no custo do produto. Tendo em vista o exposto, prevê-se uma expansão acentuada no plantio de oleaginosas, o que demanda diversos estudos e programas de PD&I, para garantir o sucesso do empreendimento. Entre outras, identificam-se as seguintes necessidades (PERES;FREITAS JUNIOR; GAZZONI, 2005):

- Quantificação da demanda dos mercados interno e externo, com sua curva de crescimento temporal e identificação dos destinos;
- Ampliação da escala de produção de óleos vegetais, de modo a torná-los competitivos com a indústria de alimentos, sem que signifique redução na oferta de alimentos;
- Investimento em PD&I de oleaginosas com deficiências tecnológicas para a formulação de sistemas de produção sustentáveis;
- Análise e estruturação dos segmentos das cadeias produtivas, adequando-as ao novo cenário, com o ingresso da demanda energética;
- Estudos de cenários em função da introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e seus impactos no agronegócio;

O exposto implica efetuar uma avaliação da capacidade de produção de oleaginosas no Brasil, de acordo com a vocação regional, prevendo a expansão de áreas das oleaginosas com domínio tecnológico, o incentivo ao extrativismo sustentável de espécies de palmáceas nativas, que ocorrem em imensas reservas naturais, em várias regiões do país, principalmente no Norte e Nordeste, bem como o incentivo ao cultivo de oleaginosas perenes que possuam domínio tecnológico, como o caso do dendê. A seguir, serão listados os principais cultivos que podem dar suporte a uma política de agricultura energética, suas vantagens comparativas e seus desafios tecnológicos (PERES; FREITAS JUNIOR; GAZZONI, 2015).

- a) Mamona;
- b) Cana-de-açúcar;
- c) Soja;

d) Dendê;

A soja é responsável por mais de 82% da produção de biodiesel no Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e B combustíveis (ANP).

A produção de soja brasileira se consolidou em momentos de fortes mudanças do setor agrícola (1998-2008) do país. Sua origem surgiu nos primórdios da industrialização dos produtos agrícolas nacionais, mas enquanto setor estruturado, o complexo soja passa a ter esse perfil quando as atividades da soja cultura tornam-se totalmente integradas, a jusante e a montante, aos outros setores da economia, como comércio e industrialização. Por mais que aspectos conjunturais tenham influenciado para que pudesse ter havido a expansão da soja em 1973, foi o tipo de produção, tanto em seus aspectos tecnológicos, quanto comerciais, que permitiu a continuação da expansão dessa atividade. (WEHRMANN; VIANNA; DUARTE, 2004).

Vale ressaltar, no Brasil, a forte presença do Estado para levar a cabo a expansão da produção dessa oleaginosa, que em seu primeiro momento contava com políticas para favorecer a modernização da agricultura; em um segundo momento foram criadas medidas para que se pudesse agregar cada vez mais valor ao setor, tais como a taxa de exportação de grãos, com o objetivo de estimular cada vez mais a exportação de derivados. Em 1990, a participação dos produtos do *complexo soja* nas exportações (32,0%) foi superior à soma da participação dos demais produtos básicos (28,4%) (ROESSING E STOLF, 1998).

Para explicar a evolução da cultura da soja no Brasil é necessário entender suas causas, a partir, daí pode-se compreender como se deu o seu deslocamento em direção ao Centro-Norte.

Dos primeiros anos de cultivo de soja em escala comercial, até a forte participação da produção brasileira no mercado internacional, a produção brasileira de soja concentrava-se na região tradicionalmente produtora, composta pelos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Em 1995, pela primeira vez a produção da Região Tradicional foi inferior a 70% do total colhido no País; em 2014 essa cifra foi de 36,0% - apenas a produção do estado de Mato Grosso é quase do mesmo tamanho da produção de toda Região Sul (CONAB, 2015).

O parque de esmagamento de soja no Brasil também se consolidou rapidamente. De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), em 1996 a capacidade esmagadora do País era de 111.475 t/dia, sendo que em 2002 ela foi de 110.560 t/dia. Nota-se que em 1996 esse parque estava consolidado e no período seguinte, houve deslocamento das plantas industriais para regiões mais próximas da produção dos grãos, com fechamento das unidades pouco eficientes. O deslocamento do esmagamento para o Centro-Sul do país está dentro da racionalidade desses agentes, visto que ele está acompanhando o deslocamento da produção de grãos (WEHRMANN; VIANNA; DUARTE, 2004).

O Brasil possui condições de solo e clima para produção de oleaginosas em todo território, tanto pode ser de culturas nativas. Além das condições de produção de oleaginosa, mostra também que a tecnologia de obtenção de óleo de soja está presente em todas as regiões do país (WEHRMANN; VIANNA; DUARTE, 2004).

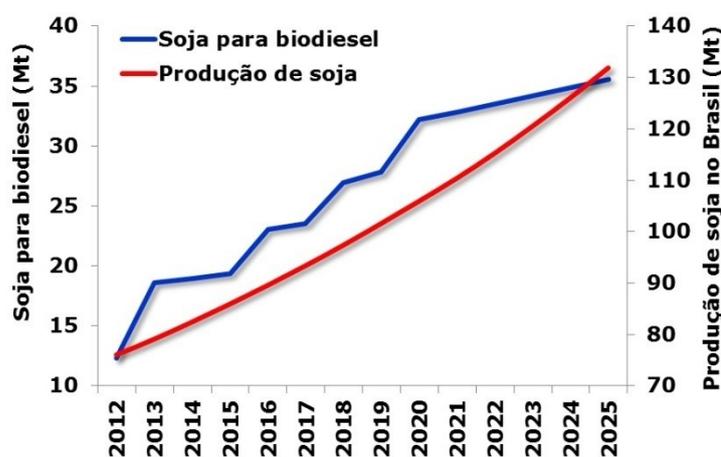
O óleo de soja é um dos componentes do sistema produtivo da soja. Sua produção é condicionada à demanda do mercado externo de farelos e de tortas; no mercado interno essa produção concorre para o abastecimento nacional de óleos comestíveis, participando da cadeia alimentícia da população, que se apresenta estável. Ao longo dos últimos 10 anos como foi montada uma estrutura de esmagamento de grãos, distribuída nas diversas regiões produtivas, de maneira que em 2002 o país já tinha capacidade instalada de esmagar 40 milhões de toneladas de grãos por ano, que continua relativamente estável e parcialmente ociosa (WEHRMANN; VIANNA; DUARTE, 2004).

Para a obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja é necessária à complementação na estrutura da cadeia de produção do complexo de soja. Esta complementação consta da introdução de uma unidade transesterificação para dar ao óleo processado características físico-químicas muito semelhantes ao diesel.

A transesterificação é um processo químico que consiste da reação do óleo vegetal com um produto intermediário ativo resultado da reação do metanol ou etanol, com uma base. A proporção destes componentes é aproximadamente: 87% de óleo vegetal, 12% de álcool e 1% de uma base catalisadora. Os produtos do processo são o biodiesel (86%), glicerina (9%) e uma mistura de álcool (5%) reprocessável. A glicerina é um produto com ampla gama de aplicações industriais, mas existe um equilíbrio entre sua produção clássica e a demanda. Não estão disponíveis estudos que analisem o impacto de uma superprodução deste produto.

As condições de clima e solo do território brasileiro favorecem a regionalização da produção e do uso do biodiesel. No caso da escolha da rota etílica para a transesterificação a presença da produção de cana nas diversas regiões melhora ainda mais esta vantagem logística. A Figura 3.3 ilustra a projeção de soja no Brasil.

Figura 3.3: Projeção da produção de soja no Brasil ate 2025.



Fonte: (GAZZONI, 2012)

Para a fabricação do biodiesel tem que seguir as especificações técnicas indústrias restritas: em nível internacional tem-se a norma ASTM D6751 e no Brasil a resolução 42 da ANP de 24/11/2004 (ANP, 2004).

Entre as características físico-químicas do biodiesel, pode-se citar a viscosidade cinemática, o ponto de fulgor, destilação, o teor de enxofre e o teor de glicerina. A seguir é apresentado um breve resumo dessas características.

a) **PONTO DE FULGOR:** É quando a temperatura em que um líquido torna-se inflamável em presença de uma chama ou faísca. Esta propriedade somente assume importância no que diz respeito à segurança nos transportes, manuseio e armazenamento. O ponto de fulgor do biodiesel é superior à temperatura ambiente, significando que o combustível não é inflamável nas condições normais de transporte e armazenamento.

b) **PODER CALORÍFICO:** O poder calorífico de um combustível indica a quantidade de energia liberada por unidade de massa (ou volume para um combustível gasoso). O poder calorífico do biodiesel é um pouco menor que do óleo diesel mineral. Na Tabela 3.1 mostra o poder calorífico superior e inferior de alguns tipos de biodiesel. Enquanto que para o óleo diesel mineral a cetanagem situa-se entre 44 a 50 kJ/kg, o que é bem menor, sendo está a razão pelo qual o biodiesel tem uma combustão mais completa num motor diesel que o próprio óleo diesel mineral (ALTIN, 2001).

Tabela 3.1: Poder calorífico superior e inferior do biodiesel.

Biodiesel	PCS (kJ/kg)	PCI (kJ/kg)	(Número de Cetano)
Biodiesel de girassol	39745	37220	55
Biodiesel de soja	3985	37545	56
Biodiesel de colza	39765	37190	58
Biodiesel de manona	36140	33650	60
Biodiesel de fritura	40090	37440	62

Fonte: (ALTIN, 2001).

c) **PONTO DE NÉVOA E DE FLUIDEZ:** O ponto de névoa é a temperatura em que o líquido, durante o resfriamento começa a ficar turvo, e o ponto de fluidez é a temperatura baixa da qual o líquido não mais escoava livremente. Estas propriedades são consideradas importantes no que diz respeito à temperatura ambiente, armazenagem e utilização do combustível. Entretanto no Brasil, de Norte a Sul, as temperaturas são amenas, não amenas, não existindo problemas de congelamento do combustível.

As propriedades fluidodinâmicas de um combustível, importantes para o funcionamento de motores de combustão por compressão (motores diesel), são: viscosidades e densidade.

Tais propriedades exercem grande influência na circulação e injeção do combustível.

d) VISCOSIDADE: A viscosidade é a resistência interna ao escoamento de um líquido; É de considerável influência no mecanismo de nebulização do jato combustível, ou seja, no funcionamento do sistema de injeção. Esta propriedade também reflete no processo de combustão, cuja eficiência dependerá da potencia máxima desenvolvida pelo motor. Em relação ao diesel mineral, os óleos vegetais apresentam valores de viscosidade bastantes elevados, como no caso da manona. A Tabela 3.2 mostra a densidade e viscosidade do biodiesel obtido a partir de oleaginosas.

Tabela 3.2: Viscosidade e densidade do Biodiesel.

Biodiesel	Viscosidade a 40° C (cSt)	Massa específica a 15°C (g/m³)
Biodiesel de girassol	4,2	0,885
Biodiesel de soja	4,0	0,885
Biodiesel de colza	4,8	0,884
Biodiesel de manona	17,6	0,930
Biodiesel de fritura	4,8	0,880

Fonte: (ALTIN, 2001).

e) LUBRICIDADE: É a medida do poder de lubrificação de uma substância, sendo uma função de várias propriedades físicas, destacando-se a viscosidade e a tensão superficial. Diferente dos motores movidos à gasolina, os motores a óleo diesel exigem que o combustível tenha boas propriedades de lubrificação, especialmente, em razão do funcionamento da bomba injetora, exigindo que o líquido que escoar lubrifique adequadamente as peças em movimento.

O biodiesel, constituído por uma mistura de ésteres de ácidos carboxílicos, solubiliza um grupo grande de substâncias orgânicas, incluindo-se as resinas que compõem as tintas.

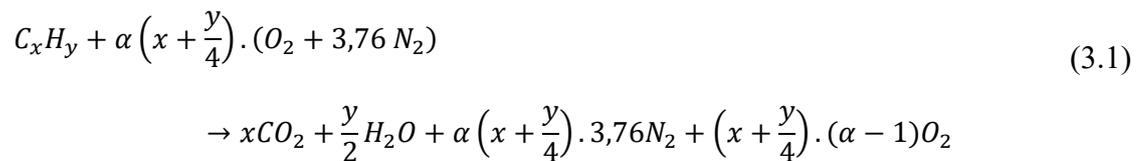
A combustão do biodiesel é relativamente mais limpa que a do diesel mineral, por causa, da sua estrutura molecular e de componentes químicos; o biodiesel não tem alguns componentes, como o enxofre, cuja presença, em quantidades relativamente pequenas é tolerada no diesel devido às suas propriedades lubrificantes. Mesmo sendo relativamente pequenas as quantidades

de enxofre, sua emissão para a atmosfera causa grandes impactos sobre a saúde humana, fibrose pulmonar; sobre o meio ambiente, chuva ácida.

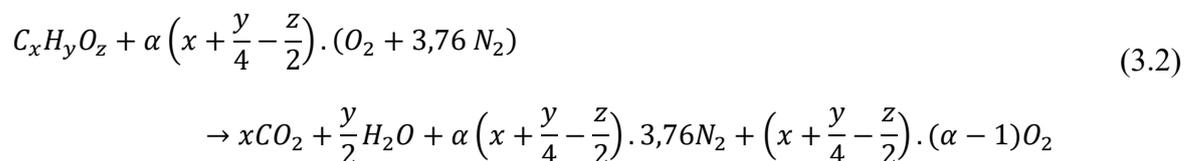
De acordo com Vianna (2005), foram testes realizados na Universidade de Brasília e resultados parciais mostraram que motores operando com biodiesel de soja e com biodiesel mineral, só se tem, comprovadamente, benefício ambiental a eliminação, proporcional ao volume de mistura, do enxofre lançado na atmosfera pelos motores diesel. Os volumes de sequestro de carbono permanecerão os mesmos, uma vez que se pressupõe que a área plantada não será alterada com a produção de biodiesel dessa oleaginosa.

A combustão do Biodiesel pode ser analisada através das equações a seguir.

A equação geral da reação de combustão de um hidrocarboneto 12 qualquer é descrita por TURNS (2013) como:



Os biocombustíveis como os álcoois e os ésteres são compostos oxigenados, e rearranjando a Equação (3.1 para um combustível composto de carbono, hidrogênio e oxigênio genérico (x y z C H O) levando-se em conta somente a proporção de oxigênio na composição (não importando o tipo de radical que está ligado à cadeia hidrocarbônica) chegamos à equação:



Quando comparamos o coeficiente de ar na reação entre o coeficiente (x + y/4) do hidrocarboneto com o coeficiente (x + y/4 - z/2) do combustível oxigenado percebemos que a

presença de oxigênio na composição do combustível provoca uma menor necessidade de ar para a reação. O próprio oxigênio do combustível ajuda a oxidar a cadeia hidrocarbônica.

3.3.3. CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE BIODIESEL

Misturas de biodiesel são denominadas como “BXX”: XX refere-se à quantidade de biodiesel na mistura com o diesel, classificado da seguinte maneira:

B + (a porcentagem de biodiesel na mistura)

Ex.: B2 = 2% de biodiesel misturado com 98% de diesel.

B5 = 5% de biodiesel misturado com 95% de diesel.

B10 = 10% de biodiesel misturado com 90% de diesel.

B20 = 20 % de biodiesel misturado com 80% de diesel.

B100 = 100% de biodiesel em sua forma pura.

3.3.4. EMISSÃO DE POLUENTES

Uma das características marcantes dos motores de combustão interna em termos de emissão de poluentes é a emissão de partículas. Dentre os diversos tipos, os motores Diesel e os motores à gasolina com injeção direta de combustível (GDI) são os que apresentam o maior potencial de geração de partículas por causa da heterogeneidade da mistura ar-combustível, inerente à sua concepção.

As emissões de poluentes locais (controlados e não controlados) do biodiesel variam em função do tipo da Matéria Graxa (Triglicerídeos e Ácidos Graxos) utilizada para a produção do biodiesel, ou seja, o tipo de óleo vegetal (soja, mamona, palma, girassol, etc) ou gordura animal usado na produção do bicomcombustível. Quanto ao biodiesel ser um éster etílico ou metílico, a princípio não é relevante quanto às emissões de poluentes locais.

- **EFEITO DO BIODIESEL EM RELAÇÃO ÀS EMISSÕES DE POLUENTES CONTROLADOS**

O uso do biodiesel reduz as emissões do monóxido de carbono (CO), do material particulado (MP), do óxido de enxofre (SO_x), dos hidrocarbonetos totais (HC) e de grande parte dos hidrocarbonetos tóxicos, que apresentam potencial cancerígeno.

O biodiesel de referência é o originário de óleo de soja. Em relação a ele observa-se que um grande grupo de óleos vegetais e de gordura animal poderá apresentar benefícios ambientais superiores.

Um estudo conjunto do Departamento de Energia e do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos mostra que o biodiesel reduz em 78% as emissões líquidas de CO. Estudos realizados pelo Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas – mostram que a substituição do óleo diesel mineral pelo biodiesel resulta em reduções de emissões de 20% de enxofre, 9,8% de anidrido carbônico, 14,2% de hidrocarbonetos não queimados, 26,8% de material particulado e 4,6% de óxido de nitrogênio. Contudo, estudo da União Européia mostra aumento das emissões de NO_x associado ao biodiesel em relação as do diesel de petróleo e esse aumento tem sido confirmado por muitos estudos, entretanto, não é impedimento para a disseminação do biodiesel devido às grandes vantagens em relação aos outros poluentes, mas deve ser considerado porque é um dos principais precursores do ozônio troposférico, atualmente o mais grave problema de qualidade do ar na maior cidade brasileira. É um incremento pequeno se comparado com as reduções de grande magnitude dos outros poluentes (BIODIESELBR, 2007).

Ademais, há estudos em andamento visando reduzir a formação do NO_x mediante o emprego de catalisadores adequados, a identificação da fonte ou propriedade que pode ser modificada para minimizar as emissões e a mudança do tempo de ignição do combustível, com a finalidade de alterar as condições de pressão e temperatura de modo a proporcionar menor formação de óxido de nitrogênio (CUMMINS, 2007).

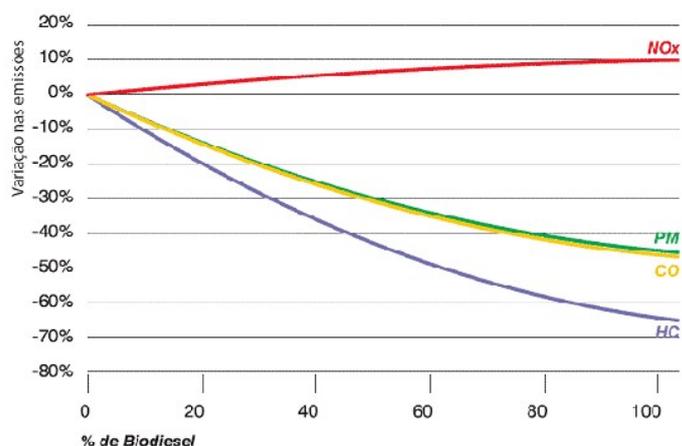
Outro estudo analisou apenas as emissões de gases de efeito estufa geradas pelo ciclo de vida do insumo álcool (desconsiderando as emissões de gases de efeito estufa do ciclo de vida da matéria graxa), o uso do biodiesel metílico reduz a emissão de gases causadores do citado efeito em 95%. Quanto ao biodiesel etílico, a redução é de 96,2%, havendo, portanto, diferença pouco significativa (1,2%) entre os dois ésteres. As emissões de poluentes locais (controlados e não controlados) do biodiesel variam, basicamente, em função do tipo de óleo vegetal (soja, mamona, palma, girassol, etc) ou gordura animal usados na produção do biodiesel. Tomando-se por base o biodiesel puro (B100), produzido com óleo de soja, seu uso reduz as emissões do monóxido de carbono (CO) em 48%, de material particulado (MP) em 47%, do óxido de enxofre (SO_x) em praticamente 100% e dos hidrocarbonetos totais (HC) em 67% (CUMMINS, 2007).

- **EFEITO DO BODIESEL EM RELAÇÃO ÀS EMISSÕES DE GASES TÓXICOS**

Os hidrocarbonetos totais, que são controlados, apresentam uma diversidade de compostos tóxicos que não são controlados individualmente. Dos 21 compostos hidrocarbônicos tóxicos, que provocam câncer e outros sérios efeitos à saúde, identificados como fonte móvel de gases tóxicos “*mobile sourceairtoxics*” (MSATs), sete são metais. Como o biodiesel é livre de metais, o mesmo apresentará redução de emissões destes compostos em relação ao diesel mineral e a seus aditivos que contenham metais. Dos quatorze compostos MSATs remanescentes, o EPA, 2002, avaliou onze (BIODIESELBR, 2007).

Apesar de haver uma variação grande nos efeitos à saúde que cada composto tóxico provoca individualmente, a quantidade de dados disponíveis sobre o total de compostos tóxicos é muito maior do que o que existe para os compostos desagregados. Assim, a correlação entre as emissões totais de gases tóxicos do biodiesel em relação ao diesel convencional é estatisticamente mais robusta. Como resultado, o EPA apresenta o impacto do biodiesel nas emissões dos gases tóxicos, bem como dos hidrocarbonetos, em relação ao diesel mineral (BIODIESELBR, 2007). A Figura 3.4 ilustra o efeito do Biodiesel sobre as emissões associadas a ele.

Figura 3.4: Efeito do biodiesel sobre as emissões associadas ao biodiesel.



Fonte: (BIODIESELBR, 2007).

A penetração do biodiesel na matriz energética brasileira reduzirá as externalidades negativas para o sistema econômico que o uso do diesel mineral provoca. Assim, a valoração propicia traduzir os benefícios ambientais para a linguagem econômica, contribuindo para a efetiva internalização destes efeitos na política pública do biodiesel no Brasil.

Ao reduzir a poluição, o uso do biodiesel permitiria que se evitassem custos de variada ordem, relacionado principalmente à saúde. As estimativas indicam que a substituição do diesel de origem fóssil pelo biodiesel puro (B100) proporcionaria redução desses custos da ordem de R\$ 192 milhões anuais, nas dez principais cidades brasileiras, e em aproximadamente R\$ 873 milhões, em nível nacional.(BIODIESELBR, 2007).

4. DEFINIÇÕES TERMODINÂMICAS

Nesse tópico é descrito os principais parâmetros utilizados para que fosse desenvolvido os cálculos em Excel para a análise do moto gerador.

a) PODER CALORÍFICO

O poder calorífico ou calor de reação representa a quantidade de calor transferida da câmara durante a combustão ou reação, à temperatura constante.

No caso de pressão constante ou processo de escoamento em regime permanente, deduzimos, pela primeira lei da termodinâmica, que ela é igual à entalpia de combustão com o sinal contrário. Por isso, essa quantidade de calor transferido é chamada de poder calorífico à pressão constante, para os processos de combustão (WYLEN&SONNTAG, 1993).

No caso de um processo a volume constante, a quantidade de calor transferido é igual à energia interna de combustão com sinal contrário, isto é, algumas vezes designado como poder calorífico a volume constante no caso de combustão (WYLEN&SONNTAG, 1993).

O poder calorífico superior é a quantidade de calor transferido com H₂O líquido nos produtos e poder calorífico inferior é a quantidade de calor transferido quando, nos produtos o H₂O, se apresentar como vapor (WYLEN&SONNTAG, 1993).

Também, de acordo com Boulanger (1978), poder calorífico é quando a combustão de um quilograma de combustível qualquer em sua combustão com oxigênio liberta certa quantidade de calor avaliada em calorias.

A quantidade de energia liberada por unidade de massa do combustível, ou de volume, é o poder calorífico superior (PCS) e depende da composição de cada combustível. A técnica usada, quando se aplica a primeira lei da termodinâmica às reações químicas, consiste em admitir que a entalpia de todos os elementos seja nula no estado de referência 25° C e 760 mm Hg. Para

combustíveis sólidos e líquidos, o poder calorífico pode ser calculado, com boa aproximação, pela Equação(4.1):

$$PCS = 33900C + 141800(H - O/8) + 9200S \quad (4.1)$$

Em que:

- PCS = poder calorífico superior (kJ kg⁻¹)
- C = teor de carbono no combustível (kg (carbono) kg combustível⁻¹)
- H = teor de hidrogênio no combustível (kg (hidrogênio) kg combustível⁻¹)
- S = teor de enxofre no combustível (kg (enxofre) kg combustível⁻¹)
- O = teor de oxigênio no combustível (kg (oxigênio) kg combustível⁻¹)

O cálculo do poder calorífico inferior (PCI) é o PCS descontado o calor latente que acompanha o vapor d'água que sai pela descarga. Esse vapor d'água é decorrente da reação do hidrogênio com o oxigênio e da umidade presente no combustível.

$$PCI = PCS - 2440(9H + W) \quad (4.2)$$

Em que:

- PCI = poder calorífico inferior (kJ.kg⁻¹ de combustível)
- W = umidade do combustível (kg umidade. kg combustível⁻¹)

A umidade é conhecida a partir da composição química do combustível e 9H representa a parcela de vapor d'água formada pela combustão do hidrogênio. O calor latente é tomado de acordo com pressão parcial do vapor d'água, nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) (Moreira, 2006).

b) CONSUMO ESPECÍFICO DO COMBUSTÍVEL

Em testes de motores, o consumo de combustível é medido a massa de combustível por unidade de tempo. Porém um parâmetro melhor é o consumo específico de combustível (*sfc*) que é

a razão vazão mássica do combustível consumido por unidade de potência fornecida. (LOREIRO, 2016) O Consumo específico de combustível estima o quão eficientemente um motor está utilizando o combustível para produzir trabalho e é dado por:

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}} \quad (4.3)$$

Sendo:

- \dot{m}_f = vazão mássica do combustível no motor
- \dot{W} = Potência do motor

c) TORQUE

O torque (τ) indica a capacidade de um motor realizar trabalho. É definido como uma força agindo perpendicularmente a uma dada distância.

As unidades de torque são *N.m* ou *lbf.ft*.

Torque é relacionado como o trabalho.

$$2\pi\tau = W_b = bmep \cdot \frac{V_d}{n} \quad (4.4)$$

Sendo n , o número de rotações por ciclo.

Em motores dois tempos o ciclo ocorre completamente a cada 360° (uma volta), enquanto no motor a quatro tempos o ciclo ocorre em 720° (duas voltas). Rearranjando a Equação.

$$(2T) = \tau = bmep \cdot \frac{V_d}{2\pi} \quad (4.5)$$

$$(4T) = \tau = bmep \cdot \frac{V_d}{4\pi} \quad (4.6)$$

São utilizados os valores de $bmep$ e W_b , porque o torque é medido diretamente da saída do virabrequim.

Valores típicos de torque máximo de motores automotivos estão na faixa de 200-300 Nm em rotações de cerca de 4000-6000 rpm. O ponto de torque máximo é chamado de rotação de torque máximo de frenagem (MBT).

Grandes motores normalmente têm altos valores de torque em baixas rotações.

d) POTÊNCIA REAL OU EFETIVA

Potência é definida como a taxa de trabalho do motor, e n (número de revolução por ciclo), N (velocidade do motor), com isso tem-se:

$$\dot{W} = W \cdot \frac{N}{n} \quad (4.7)$$

$$\dot{W} = 2 \cdot \pi \cdot N \cdot \tau \quad (4.8)$$

Dependendo de qual definição de trabalho ou mep é usado nas Equações acima, a Potência pode ser definida como potência de frenagem, a potência indicada líquida, potência indicada bruta, potência de bombeamento, e até mesmo o potência de atrito. (PULKRABEK, 2004)

Então:

$$W = W_i - W \quad (4.9)$$

Outras formas utilizadas para classificar os motores são a potência específica e a produção por deslocamento. Potência específica é a potência de frenagem por unidade de área do pistão:

$$SP = \frac{\dot{W}_b}{A_p} \quad (4.10)$$

Produção por deslocamento é a razão da potência de frenagem pelo volume deslocado:

$$OPD = \frac{\dot{W}_b}{V_d} \quad (4.11)$$

Onde:

- \dot{W}_b = potência de frenagem;
- A_p = área do embolo de todos os pistões;
- V_d = volume deslocado.

e) PRESSÃO MÉDIA EFETIVA

Enquanto o torque é um meio valioso da capacidade específica do motor de realizar o trabalho, depende do tamanho do motor. O desempenho de motor relativo mais útil é obtido dividindo o trabalho por ciclo pelo volume do cilindro deslocado por ciclo. O parâmetro assim obtido possui unidades de força por unidade de área e é chamada de pressão efetiva média (mep) (HEYWOOD, 2009).

$$\text{Trabalho por ciclo: } \frac{P \cdot \eta_r}{N} \quad (4.12)$$

Onde:

- η_r = Número de revoluções da manivela para o curso de energia “cach por ciclinder” (dois para o ciclo de quatro tempos, onde para ciclos de dois tempos).

Então:

$$mep = \frac{P \cdot \eta_r}{V_d \cdot N} \quad (4.13)$$

f) EFICIÊNCIA GLOBAL

Uma vez que a potência efetiva já mostra o valor real, descontadas as perdas térmicas e perdas por atrito, o rendimento global pode ser definido como a razão entre essa potência e a quantidade de calor inserida no motor.

$$\eta_g = \frac{\dot{W}_b}{\dot{m}_f \cdot PCI \cdot \eta_c} \quad (4.14)$$

Pode ser definida também como o produto entre a eficiência térmica e a eficiência mecânica.

$$\eta_g = \eta_t \cdot \eta_m \quad (4.15)$$

- Valores de eficiência global são da ordem de 30%.

g) EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA

A eficiência volumétrica é definida como a massa de mistura ambiente que entra no cilindro no tempo de admissão, dividida pela massa de mistura que vai preencher o espaço disponível na câmara considerando-se a densidade do ar na admissão (TAYLOR, 1976). A Equação (4.16) representa a eficiência volumétrica:

$$\eta_v = \frac{m_a}{\rho_a V_d} \quad (4.16)$$

Sendo:

- m_a = massa de ar no motor (ou cilindro) para um ciclo

- ρ_a = densidade do ar em condições atmosféricas no exterior do motor
- V_d = volume deslocado

5. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Esta seção objetiva realizar a descrição da bancada, e reescreves os ensaios realizados em laboratório.

5.1. INTRODUÇÃO AO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado no Laboratório de Maquinas e Sistemas Térmicos e Combustão do Prédio da FAEN na Universidade Federal da Grande Dourados. O principal equipamento utilizado foi o Motogerador Gera Power Brasil GB3500. A Figura 5.1 mostra o equipamento.

Figura 5.1: Motogerador Gera Power Brasil GB3500.



Fonte: Autor.

O gerador é um gerador elétrico de corrente alternada e é acoplado a um motor monocilíndrico a ciclo diesel.

5.2. DESCRIÇÃO DA BANCADA

Para o experimento, foi utilizado o motogerador Gera Power Brasil GB3500 onde um gerador elétrico de corrente alternada é acoplado a um motor monocilíndrico a ciclo diesel. As características do gerador e do motor são mostradas nas Tabela 5.1 e Tabela 5.2 a seguir:

Tabela 5.1:Gerador

GERADOR	
TIPO	Brushless, corrente alternada
FREQÜÊNCIA (Hz)	60
POTÊNCIA MÁXIMA (kVA)	3,5
POTÊNCIA NOMINAL (kVA)	3,8
TENSÃO (AC) (V)	220/127
TENSÃO (DC) (V)	12
CORRENTE (DC) (A)	8,3
FATOR DE POTÊNCIA	1
FASE	Bifásico/ monofásico
NÚMERO DE POLOS	2
ISOLAÇÃO	B

Fonte: Gera Power Brasil, 2017.

Tabela 5.2:Motor diesel

MOTOR DIESEL		
MODELO	ATIMA 178f	
TIPO	01 Cilindro - vertical - quatro tempos resfriado a ar - injeção direta	
POTENCIA DE SAÍDA	CONTÍNUA (HP)	6,5
	MAXÍMA (HP)	7
ROTAÇÃO (rpm)	3600	
CILINDRADA (cm³)	418	
DIÂMETRO x CURSO	86 x 72	
SISTEMA DE RESFRIAMENTO	Forçada a ar através de ventilador	
AUTONOMIA (h)	8	

Fonte: Gera Power Brasil, 2017

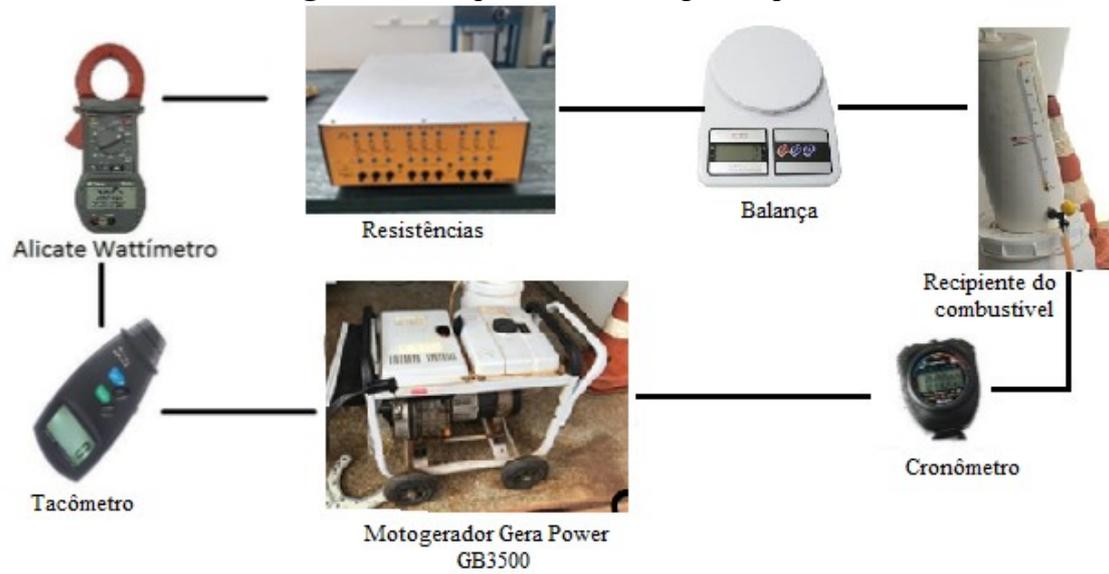
Figura 5.2:Equipamento de teste: Gerador a motor (a), Banco de resistência (b).



Fonte: Autor.

A Figura 5.3 ilustra o esquema da montagem experimental realizado. No mesmo podem-se observar todos os equipamentos utilizados bem como a sua relação com os outros.

Figura 5.3: Esquema da montagem experimental



Fonte: Autor

A Figura 5.4 demonstra a montagem experimental real, a onde foi realizados os experimentos.

Figura 5.4: Foto da montagem experimental



Fonte: Autor

Para medir os dados de temperatura, pressão e umidade do laboratório onde foram realizados os ensaios foi utilizado um anemômetro digital.

A Tabela 5.3 apresenta os equipamentos utilizados e suas principais características. E a Figura 5.2 ilustra os mesmo.

Tabela 5.3: Instrumentação

INSTRUMENTAÇÃO			
EQUIPAMENTO	MEDIDA	CAPACIDADE	PRECISÃO
Balança SF-400	Massa de combustível	Máx. 5kg a 10 kg	0,001 kg
Tacômetro Digital Portátil modelo TDR-100 2 em 1	Rotação	De 0,5 a 100 rpm	$\pm 0,1$ rpm para valor médio de 1000 rpm
Alicate Multímetro	Potência		0,01 kW
Analizador de gases GreenLine 8000	Emissão de poluente e temperatura do escapamento.	CO – 4000 ppm NO – 2000ppm CO ₂ – 2000 ppm O ₂ – 2000 ppm	± 5 ppmabs ou 5% rel.
Cronometro CRONOBIO SW2018	Medida do tempo de funcionamento do motor		$\pm 0,001$ s
Anemômetro Oregon Scientific	Medida de pressão, temperatura, umidade, previsão do tempo e relógio.		

Fonte: Autor.

Figura 5.5: Instrumentos utilizados no experimento: Balança (a), Analisador de gases (b), Tacômetro digital (c), Alicate multímetro (d), Cronômetro (e) e Anemômetro (f).



Fonte: Autor.

5.3. PREPARAÇÃO DAS MISTURAS

Foram preparadas cinco amostras de mistura de combustíveis (Diesel e Biodiesel).

Para a preparação das mesmas foi utilizada uma balança com capacidade para 10 kg e precisão de 0,0001 kg e um béquer.

As misturas foram chamadas de BXX onde XX representa a quantidade de biodiesel de soja contida na mistura. A Tabela 5.4 mostra a porcentagem de óleo diesel e biodiesel de soja.

Tabela 5.4: Composição das misturas.

COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS							
	COMBUSTÍVEL						
	B00	B10	B20	B30	B50	B70	B100
ÓLEO DIESEL (%)	100	90	80	70	50	30	0
BIODIESEL (%)	0	10	20	30	50	70	100
ÓLEO DIESEL (kg)	0,5	0,45	0,4	0,35	0,25	0,15	0
BIODIESEL (kg)	0	0,05	0,1	0,15	0,25	0,35	0,5

Fonte: Autor

5.4. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado com o funcionamento do motor em estado permanente e regime constante de funcionamento. O motogerador foi posicionado perto da saída emergencial do laboratório, a área ao redor dele foi isolada.

Para realizar o experimento foi adaptado um tanque auxiliar externo ao equipamento de forma que fosse possível de ser posicionada uma balança eletrônica para que o consumo mássico do combustível fosse medido.

O Tanque externo foi abastecido com a mistura e posicionado na balança. Partiu-se o motogerador e aguardou-se três minutos para garantir que o motor entrasse em regime.

A vazão do combustível foi determinada com uso do cronômetro, de forma que ao adicionar uma carga era considerada a massa mostrada na balança e ao final do tempo, que nesse

experimento foi adotado 3 minutos, a massa final mostrada pela balança era utilizada, em outras palavras a vazão de combustível foi determinada pelo tempo de três minutos para que a bancada consumisse uma quantidade de g de combustível.

O tacômetro foi acoplado em um suporte a fim de não haver erros nas medições de rotação e o alicate multímetro foi conectado entre a carga e o motor, para que se pudesse medir a potência efetiva do sistema.

Nove cargas puramente resistivas de 300 W foram usadas para simular a demanda de energia. A cada carga conectada, o gerador acoplado ao virabrequim funciona como um freio cuja potência deve ser vencida pelo motor. A primeira medida foi realizada sem nenhuma carga, resistência, só o motogerador funcionando sem adicionar carga alguma.

A potência efetiva entregue pelo grupo gerador é medida em um alicate multímetro e dessa forma é possível determinar a curva de potência efetiva por potência demandada.

Uma vez que a vazão mássica foi determinada anteriormente é possível então determinar o consumo específico para cada potência.

Foram medidas a massa da balança, a rotação e a potência, com intervalos de 3 minutos entre as mesmas, para as nove cargas.

A sonda do analisador de gás foi acoplada ao escapamento para serem medidas as emissões de NO, CO, CO₂ e CH₄. Foram coletadas 120 amostras de cada espécie a uma taxa de uma amostra por segundo. A coleta dos dados de emissões iniciou-se após três minutos de funcionamento do motor com a mistura. Os dados coletados foram plotados para análise.

6. RESULTADOS

Essa seção descreve e discute os resultados de emissões e de desempenho do grupo gerador.

De acordo com o que foi descrito anteriormente, foram coletados dados de consumo, rotação e potência. Esses dados estão dispostos nos Anexos B, D, E, F, H, I e J. Com os dados coletados foi possível calcular o consumo do combustível, eficiência global, torque e potência média efetiva.

Também foram medidos, dados do ambiente no dia do ensaio em laboratório, através do anemômetro digital, os mesmos estão dispostos a seguir:

- Dia 29/06/2017

Pressão (kPa): 96,27

Temperatura em (°C): 24,1

Umidade relativa do ar (%): 37

- Dia 03/07/2017 pela manhã.

Pressão (kPa): 96,95

Temperatura em (°C): 18,9

Umidade relativa do ar (%): 42

- Dia 03/07/2017 à tarde.

Pressão (kPa): 96,61

Temperatura em (°C): 24,4

Umidade relativa do ar (%): 38

Como a potência das resistências não é totalmente aproveitada pelo motogerador, devido às perdas existentes, foi medida a potência efetiva para cada carga, e esta está descrita na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Potência efetiva entregue.

DEMANDA	POTÊNCIA EFETIVA (kW)						
	B00	B10	B20	B30	B50	B70	B100
0 W	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
350 W	0,260	0,310	0,310	0,290	0,290	0,280	0,280
700 W	0,500	0,620	0,600	0,610	0,590	0,610	0,340
1050 W	0,800	0,950	0,960	0,940	0,910	0,930	0,410
1400 W	1,130	1,270	1,290	1,240	1,250	1,250	0,700
1750W	1,480	1,390	1,350	1,550	1,450	1,400	1,020
2100W	1,760	1,490	1,460	1,420	1,410	1,390	1,250
2450W	2,150	1,620	1,660	1,610	1,610	1,600	1,410
2800W	2,390	1,830	1,830	1,710	1,740	1,770	1,610
3150W	2,650	1,950	1,950	1,960	1,960	1,800	1,750

Fonte: Autor.

O consumo de combustível é calculado através da subtração das massas iniciais e finais de cada carga que foram obtidas através do experimento realizado em laboratório com o intervalo de 3 minutos e os seus respectivos resultados podem ser observados no Anexo L.

O consumo específico de combustível em grama por segundo (g/kW) é calculado dividindo o consumo pelo tempo em segundos.

Usando a Equação 0.(4.3) foi definido o consumo específico de combustível.

A Tabela 6.2 mostra o consumo específico do combustível para cada carga.

Tabela 6.2: Consumo específico de combustível (sfc)

DEMANDA	CONSUMO ESPECIFICO (g/kW)						
	B00	B10	B20	B30	B50	B70	B100
0 W	-	-	-	-	-	-	-
350 W	0,8547	0,3763	0,4301	0,5747	0,5364	0,5556	0,6349
700 W	0,3444	0,2419	0,2500	0,2732	0,2825	0,2641	0,4248
1050 W	0,2292	0,1404	0,1678	0,1950	0,2442	0,2389	0,2981
1400 W	0,1868	0,2012	0,1421	0,2240	0,1511	0,1333	0,2222
1750W	0,1614	0,1719	0,1728	0,1147	0,1379	0,1349	0,1307
2100W	0,1420	0,1342	0,1332	0,0665	0,1615	0,1319	0,1600
2450W	0,1240	0,1372	0,0937	0,0725	0,1173	0,1389	0,1418
2800W	0,1302	0,1214	0,1791	0,2502	0,1373	0,1318	0,1311
3150W	0,1635	0,1168	0,1168	0,1276	0,1276	0,1481	0,1270

Fonte: Autor

Utilizando a Equação (4.1 para calcular o PCS e posteriormente a Equação (4.2 para calcular o PCI das misturas de Diesel+Biodiesel que foram determinados calculando uma ponderação da % de cada combustível presente, esses dados calculados podem-se ser observados na Tabela 6.3a seguir:

Tabela 6.3: Poder calorífico superior (PCS) e Poder calorífico inferior (PCI).

	B00	B10	B20	B30	B50	B70	B100
PCS (kJ.kg-1)	4,10E+04	4,74E+04	4,67E+04	4,60E+04	4,46E+04	4,31E+04	4,10E+04
PCI (kJ.kg-1)	3,84E+04	4,46E+04	4,39E+04	4,32E+04	4,18E+04	4,04E+04	3,84E+04

Fonte: Autor.

A eficiência global pode-se ser calculada por:

$$\eta_g = \frac{\dot{W}_b}{\dot{m}_f \cdot PCI \cdot \eta_c} \quad ((4.14))$$

Utilizando a Equação (4.14 para encontrar a eficiência global e considerando os PCIs calculados e mostrados naTabela 6.3e o consumo específico calculado naTabela 6.2, pode-se observar as eficiências globais de cada carganaTabela 6.4.

Tabela 6.4: Eficiência global.

DEMANDA	EFICIÊNCIA GLOBAL (%)						
	B00	B10	B20	B30	B50	B70	B100
0 W	-	-	-	-	-	-	-
350 W	3,05	5,96	5,3	3,78	4,46	4,45	4,10
700 W	7,56	9,26	9,12	7,96	8,47	9,36	6,13
1050 W	11,37	15,99	13,58	11,15	9,79	10,35	8,74
1400 W	13,94	11,15	16,04	9,71	15,83	18,54	11,72
1750W	16,14	13,96	13,19	18,96	17,34	18,33	19,93
2100W	18,34	16,72	17,12	32,69	14,80	18,75	16,28
2450W	21,00	16,36	24,33	30,01	20,38	17,80	18,37
2800W	20,01	18,48	12,73	8,69	17,42	18,76	19,87
3150W	15,93	19,21	19,51	17,05	18,75	16,69	20,52

Fonte: Autor

Empregando a Equação (4.4 são obtidos os torques para cada carga de cada mistura, seus valores, estão descritos na Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Torque.

DEMANDA	TORQUE (N.m)						
	B00	B10	B20	B30	B50	B70	B100
0 W	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
350 W	1,634	1,948	1,948	1,822	1,822	1,759	1,759
700 W	3,142	3,896	3,770	3,833	3,707	3,833	2,136
1050 W	5,027	5,969	6,032	5,906	5,718	5,843	2,576
1400 W	7,100	7,980	8,105	7,791	7,854	7,854	4,398
1750W	9,299	8,734	8,482	9,739	9,111	8,796	6,409
2100W	11,058	9,362	9,173	8,922	8,859	8,734	7,854
2450W	13,509	10,179	10,430	10,116	10,116	10,053	8,859
2800W	15,017	11,498	11,498	10,744	10,933	11,121	10,116
3150W	16,650	12,252	12,252	12,315	12,315	11,310	10,996

Fonte: Autor.

A Tabela 6.6 indica a Pressão Média Efetiva que foi calculada através da Equação (4.13) para cada carga e cada mistura utilizada no experimento.

Tabela 6.6: Pressão Média Efetiva (MEP).

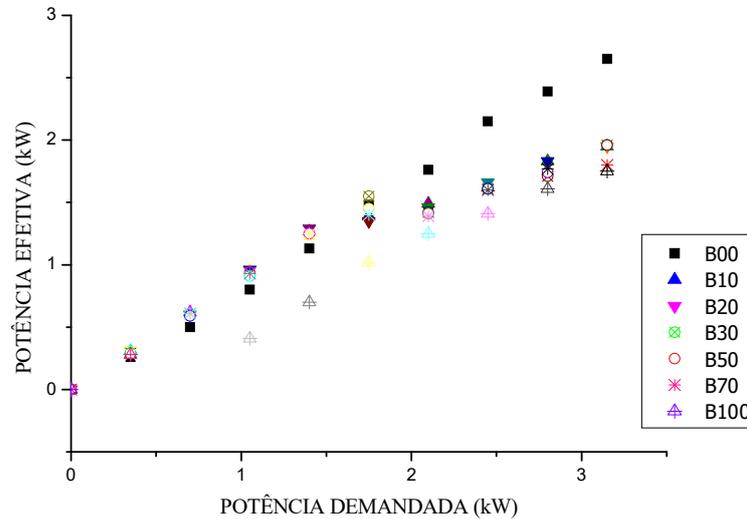
DEMANDA	MEP (kW/ dm ³ .rev/s)						
	B00	B10	B20	B30	B50	B70	B100
0 W	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
350 W	0,0213	0,0246	0,0248	0,0232	0,0232	0,0225	0,0225
700 W	0,0415	0,0497	0,0483	0,0491	0,0474	0,0493	0,0331
1050 W	0,0678	0,0768	0,0776	0,0761	0,0737	0,0754	0,0392
1400 W	0,0969	0,1035	0,1052	0,1011	0,1022	0,1021	0,0703
1750W	0,1271	0,1153	0,1120	0,1287	0,1241	0,1212	0,1026
2100W	0,1505	0,1398	0,1368	0,1352	0,1338	0,1338	0,1265
2450W	0,1830	0,1554	0,1589	0,1553	0,1554	0,1553	0,1443
2800W	0,2070	0,1778	0,1772	0,1653	0,1703	0,1738	0,1686
3150W	0,2286	0,1913	0,2762	0,2779	0,2356	0,1785	0,1763

Fonte: Autor.

A Figura 6.1 compara a potência efetiva com a potência demandada (carga de resistores). Pode-se observar que a maior diferença é de 1400 W para a carga de 3150 W da mistura B100 e a mínima é de 90 W para cargas de 350 W. O motor não conseguiu devolver a mesma potência

demandada, porém não houve queda durante o experimento a curva da potência efetiva se mostra sempre crescente.

Figura 6.1: Gráfico da comparação das Potências.



Fonte: Autor.

O consumo específico é definido como a quantidade de combustível necessária para produzir uma unidade de potência. Quanto menor for o consumo específico maior será a eficiência da máquina.

A Figura 6.2 ilustra a relação entre a Potência Efetiva e consumo específico. Observa-se que é uma curva decrescente mostrando que quanto menor o consumo específico maior a potência efetiva e eficiência térmica. Isso se deve devido ao fato do motogerador analisado nesse trabalho possui controle mecânico na alimentação de combustível. Assim quanto melhor (maior carga) a condição de operação, mais próximo da potência nominal do motor e menor será o consumo específico.

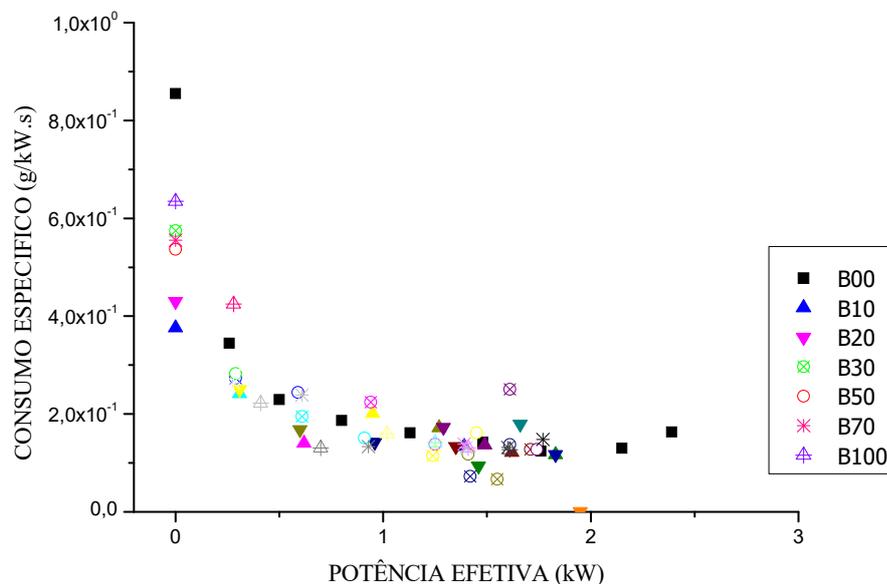
Analisando a Figura 6.2 percebe-se que o consumo específico é maior para as misturas nas condições de menor carregamento (menor carga), porém nas condições de maior carga, o consumo específico é praticamente o mesmo.

Motores térmicos possuem melhor eficiência quando operam com cargas próximas às de projeto (verificar que o consumo específico diminui de maneira exponencial com o aumento da

potência para todos os combustíveis) e embora o motor não tenha entregado a potência demandada, principalmente onde a carga é maior, o consumo específico tanto para B00 quanto para B100 é praticamente o mesmo para a situação de demanda máxima. Portanto a eficiência térmica do motor não sofre alterações significativas devidas à diferença de propriedades entre os combustíveis.

Analisando as Tabela 6.2 e Tabela 6.4 temos que para a mistura B30 com a potência de 2150 W observa-se que a Eficiência global é maior para esse ponto sendo ela de ordem 32,69%, pode-se interpretar que esse ponto é um ponto atípico, já que ele foge dos padrões analisados.

Figura 6.2: Relação entre a Potência Efetiva e o Consumo Especifico.

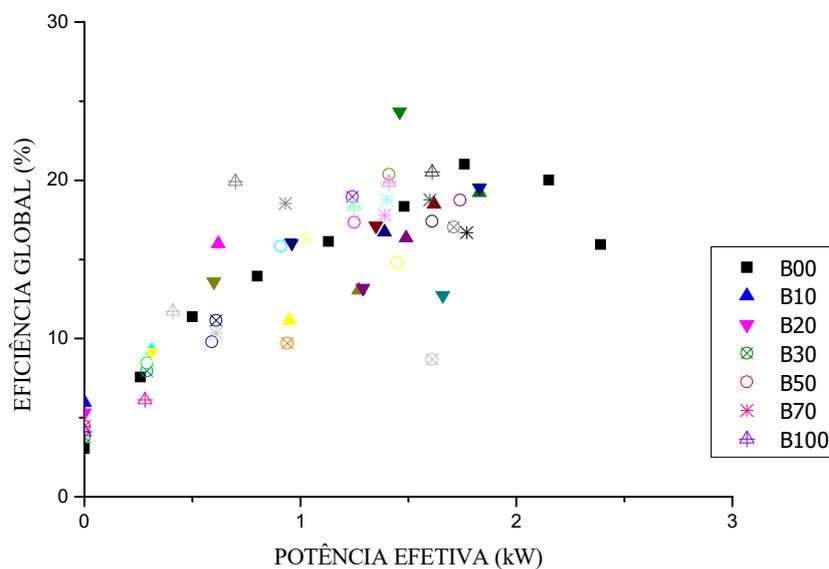


Fonte: Autor.

A Figura 6.3 mostra a relação entre a Potência Efetiva e a Eficiência global.

Esse gráfico é inverso ao gráfico apresentado pela Figura 6.2, sendo assim uma curva crescente. Como já foi dito isso ocorre, pois quanto mais próximo à potência nominal do motor melhor será a eficiência.

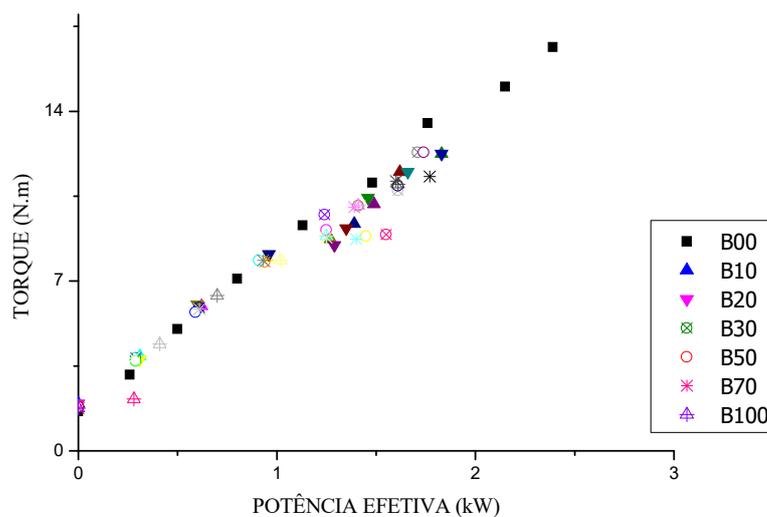
Figura 6.3: Relação entre a Potência Efetiva e a Eficiência Global.



Fonte: Autor.

A Figura 6.4 mostra o gráfico de Potência Efetiva por torque, é possível perceber que o torque é diretamente proporcional à potência, pois quanto maior a Potência Efetiva maior o torque.

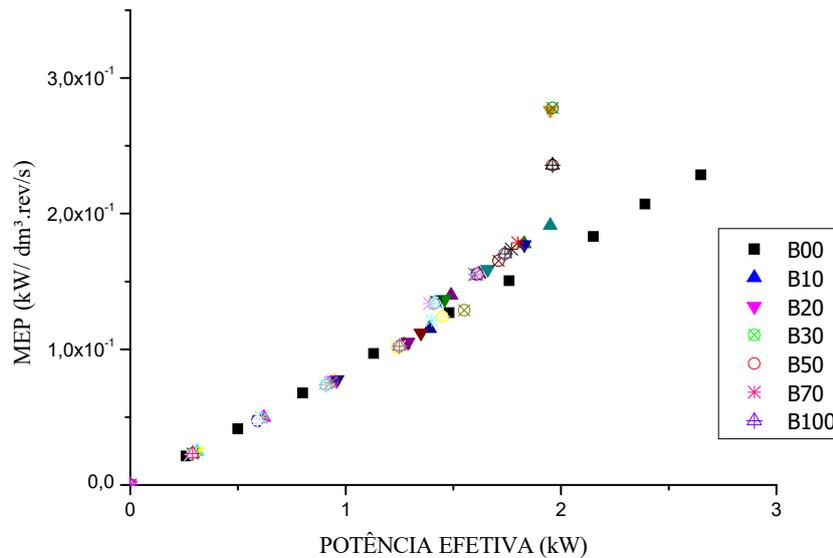
Figura 6.4: Gráfico da Potência Efetiva pelo Torque.



Fonte: Autor.

A Figura 6.5 mostra o gráfico de potência efetiva por pressão média efetiva de frenagem, é possível perceber que a pressão média efetiva de frenagem aumenta conforme a potência aumenta. Do mesmo modo que aconteceu na Figura 6.4.

Figura 6.5: Potência Efetiva pela Pressão Média Efetiva.



Fonte: Autor.

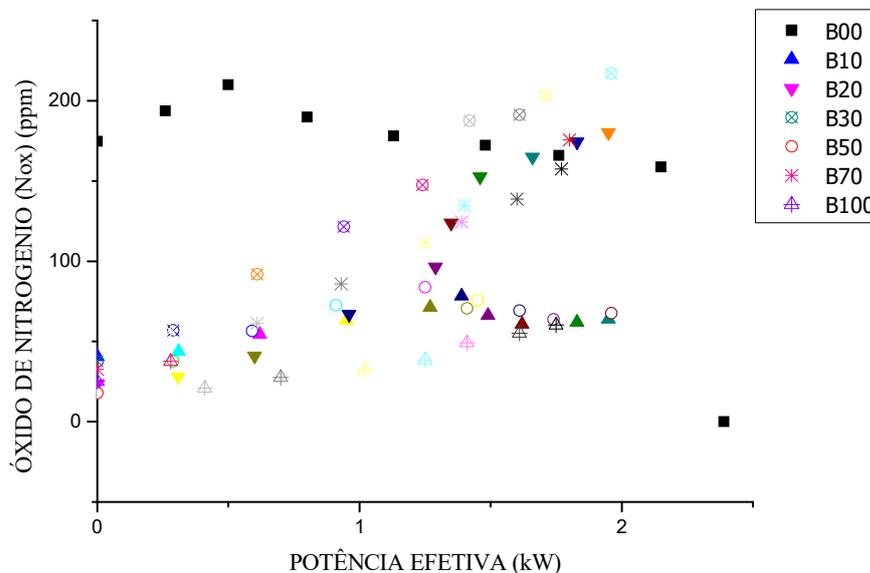
A combustão completa de qualquer combustível deve ter como produtos dióxido de carbono e água (CARVALHO JUNIORR, 2007), o nitrogênio presente em 80% do ar é um gás inerte e deve aparecer no escapamento na mesma quantidade que entrou no coletor de admissão, assim como o oxigênio que entra em excesso em caso de combustão pobre.

A combustão é uma reação de oxidação exotérmica, portanto os gases de exaustão devem apresentar temperaturas mais altas que os reagentes que entram na câmara de combustão.

Uma reação de combustão mais eficiente libera maior quantidade de calor. A temperatura maior favorece a oxidação do monóxido de carbono em dióxido de carbono, portanto as emissões de CO devem diminuir conforme o motor é solicitado. Por outro lado temperaturas mais altas na

câmara de combustão provocam a dissociação do O_2 e do N_2 constituintes do ar atmosférico. Ao reagirem novamente os átomos dissociados de O e N combinam-se em óxidos de nitrogênio (NO e NO_2) conhecidos como NO_x . A Figura 6.6 mostra esse comportamento.

Figura 6.6: Emissão de NO_x .



Fonte: Autor

Analisando-se a operação com diesel puro, percebe-se um aumento da emissão de óxidos de nitrogênio diretamente proporcional ao aumento da potência entregue pelo grupo gerador quando operado com diesel puro.

Esse aumento nas emissões se deve ao fato do processo de formação do NO_x ser diretamente proporcional ao aumento da temperatura na câmara de combustão. Uma vez que a maior potência entregue exige mais combustível e maior temperatura na camisa do motor é esperado que esse comportamento ocorresse.

A temperatura de chama adiabática é a maior temperatura proporcionada pela chama. Essa temperatura é relacionada à entalpia do combustível, ou seja, ao seu poder calorífico. O óleo vegetal possui oxigênio em sua molécula e, portanto possui um PCI (Poder Calorífico Inferior) menor se comparado a um hidrocarboneto puro, ou a uma mistura de hidrocarbonetos puros como o óleo diesel.

Esse comportamento explica a queda de emissão de óxidos de nitrogênio para uma determinada potência quando se utilizam as misturas em relação ao diesel puro.

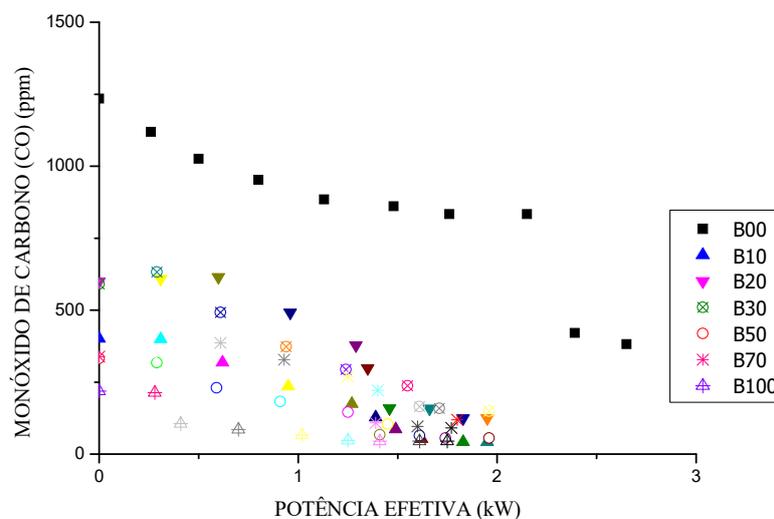
Verifica-se também que em relação ao aumento de potência, a curva para cada mistura se comporta como esperado e acompanhando a curva do B00, ou seja, relação direta do aumento de emissões com o aumento da potência.

Notou-se que embora haja um comportamento espúrio em B10 e B100, as emissões de NO para as outras misturas ficou praticamente a mesma.

Analisando-se a Figura 6.7 verificou-se que as emissões de monóxido de carbono diminuíram com o aumento da potência quando o grupo gerador opera com diesel puro. O CO é resultado de combustão incompleta e tem comportamento inverso ao dos óxidos de nitrogênio em relação à temperatura. Maior temperatura na câmara de combustão é resultado de uma queima mais completa e, portanto as emissões de CO se comportaram como esperado.

Para a mistura B70 notou-se que a curva é atípica, pois para uma determinada potência quanto maior a quantidade de óleo na mistura, maior é a emissão de CO e vice e versa. Nesse caso a presença de oxigênio na molécula de combustível ajuda na eficiência da combustão, pois o próprio oxigênio molecular é oxidado na reação.

Figura 6.7: Emissão de CO.

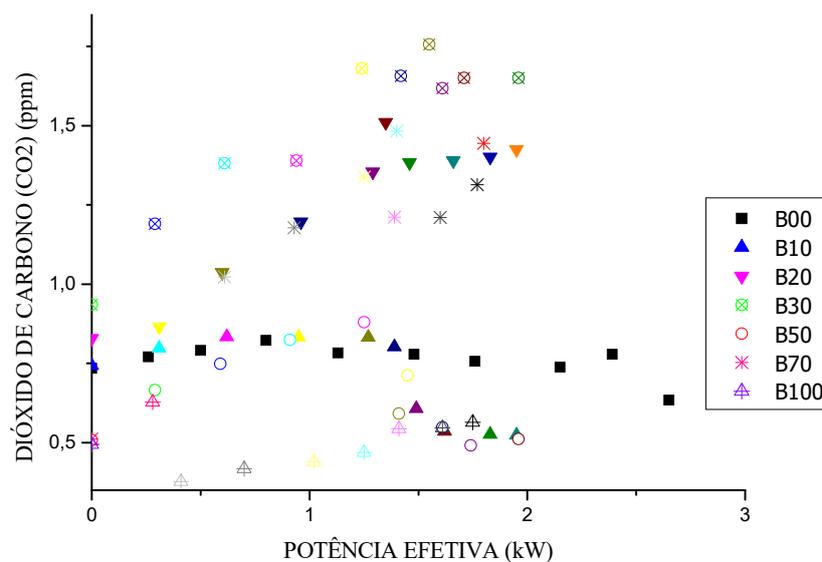


Fonte: Autor.

O CO_2 é resultado da combustão completa do combustível. Como pode ser notada a emissão de monóxido de carbono é maior que a emissão de dióxido de carbono para as misturas com mais porcentagem de diesel, e isso se deve a ausência de oxigênio na formulação, ou seja, esta oxidando menos CO em CO_2 de maneira que o oxigênio presente no biodiesel está sendo utilizado para oxidar o monóxido de carbono em dióxido de carbono.

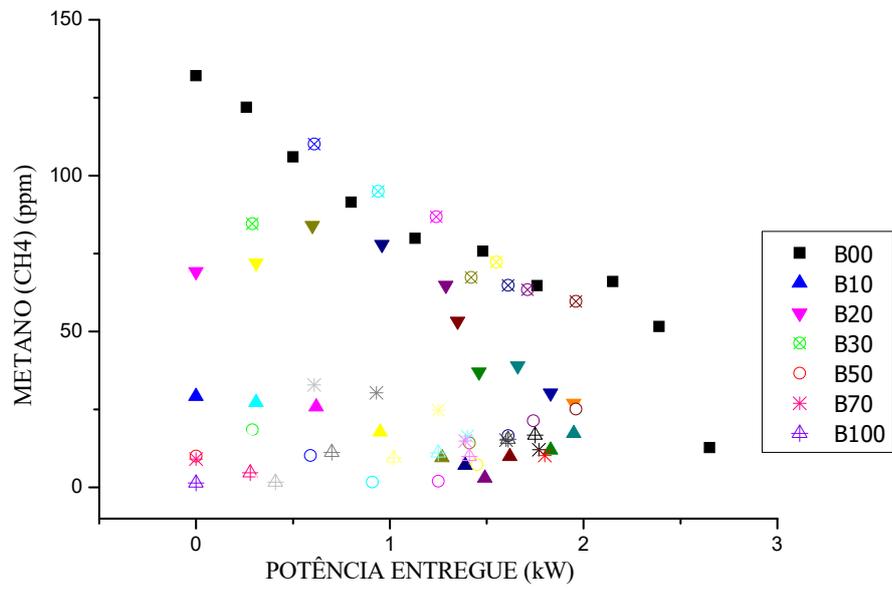
A maior emissão de CO nos revela uma menor eficiência de combustão, já que isso nos indica que esta ocorrendo uma combustão incompleta, com os resultados obtidos é possível notar que a eficiência de combustão aumenta com a adição do Biodiesel.

Figura 6.8:Emissão de CO_2 .



Fonte: Autor.

O CH_4 representa o hidrocarboneto não queimado, ou seja, combustível que não foi queimado. Como se pode notar na Figura 6.9a emissão desse hidrocarboneto diminui com o aumento da potência e o aumento do teor de biodiesel na mistura. Essa queda nos revela que a eficiência de combustão é melhor para as misturas de biodiesel, pois a sfc aumenta conforma-se aumenta a % de biodiesel na mistura.

Figura 6.9:Emissão de CH₄

Fonte: Autor.

7. CONCLUSÃO

A análise da seção anterior conclui-se que utilização de biodiesel como complemento ao óleo diesel puro não diminui as emissões de NO, a exceção para B20 e B30. A adição do óleo vegetal no óleo diesel diminuiu as emissões de CO, exceto para B70 que apresentou um comportamento espúrio. Embora o motor tenha chegado ao seu limite, não apresentou diferença significativa de consumo específico nas demandas mais altas.

Portanto a utilização de óleo de biodiesel como combustível complementar ao óleo diesel é tecnicamente viável, porém sugere-se um estudo da viabilidade econômica da utilização deste ácido graxo para operar motores agrícolas e grupos geradores nas fazendas que utilizam o plantio de soja. Este estudo foi desenvolvido com óleo vegetal comercial, que é vendido após um processo de refino, portanto para a sugestão anterior considerar esse refino na análise. O motor não foi desmontado para análise de deposição de resíduos no seu interior.

Uma vez analisadas as curvas geradas conclui-se que a adaptação do tanque externo e a utilização da instrumentação disponível no Laboratório de Máquinas Térmicas, Sistemas Térmicos e Combustão transformou o grupo gerador diesel em uma bancada que pode ser utilizada tanto em ensino quanto em pesquisa.

O experimento completo foi utilizado em aulas práticas da disciplina Sistemas Térmicos de Potência do curso de Engenharia de Energia da UFGD.

Paralelamente foi desenvolvido um trabalho de pesquisa comparando os parâmetros de desempenho do motor e emissões de poluentes de várias misturas de diesel/biodiesel publicado que vai ser publicado na COBEM 2017.

8. TRABALHOS FUTUROS

O laboratório de Maquinas Térmicas, Sistemas Térmicos e Combustão da Fundação Universidade Federal da Grande Dourados do curso de Engenharia de Energia possui uma dificuldade na didática, pois com os motores fechados, é impossível obter dados da admissão, compressão, combustão e exaustão assim não podendo ser caracterizado o ciclo termodinâmico, e o Analisador de gases encontra-se deficiente, não fazendo todas as medições necessárias. Com a instrumentação do mesmo os eventuais trabalhos posteriores poderão submeter os motores a ensaios para que possa assegurar da sua pressão e temperatura e emissão de O_2 em cada ciclo e demais características construtivas. Sendo possível assim compara-los com as calculadas no presente trabalho.

9. REFERÊNCIAS

ABIOVE. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Disponível em <www.abiove.com.br>. Acesso em: 10 ago 2017.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Legislação**. Disponível em http://www.aneel.gov.br/area.cfm?id_area=50. Acesso em: 10 ago 2017.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº456: Estabelece de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, de 29 de jun. de 2010.

ANDREWS-SPEED, P.; LIAO, X.; DANNREUTHER. **The Strategic Implications of China's Energy needs**. Adelphi Papers, London, n. 346, p. 7-10, 2000.

ANP - **Anuário Estatístico da Agência Nacional do Petróleo: 1990 – 1998**. Rio de Janeiro, 2004.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e B combustíveis, **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e B combustíveis 2016**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/2441-anuario-estatistico-2016>> Rio de Janeiro: ANP, 2016.

ALTIN, R.; CETINKAYA, S. & YUCESU, H. S. **The potential of using vegetable oils fuels as fuel for diesel engines**. *Energy Conversion and Management* Vol.42, p.529-538, 2001.

BARCELOS, E.; **Dendeicultura no Brasil: diagnóstico**. Trabalho apresentado na X CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE PALMA ECEITEIRA, 10., 24-29 maio, Santa Marta, Colômbia, 1993. 18 p.. BARCELOS, E.; AMBLARD, P.; *Oil palm breeding program at Embrapa/Brasil*. Manaus: Embrapa-CPAA, 1992. 20 p.

BARCELOS, E.; CHAILLARD, H.; NUNES, C. D. M.; MACÊDO, J. L. V.; RODRIGUES, M. do R. L.; CUNHA, R. N. V. da; TAVARES, A. M.; DANTAS, J. C. R.; BORGES, R. de S.;

BARBOSA, Ronald Leite; SILVA, Fábio Moreira da; SALVADOR, Nilson. **Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel**. 2007. 10 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Rural, Centro Federal de Educação Tecnológica de Ouro Preto/cefet, Lavras, 2006. Cap. 11. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000500035>. Acesso em: 16 jul. 2017.

BARBOSA FILHO, Wilson Pereira. **Geração Distribuída**. 2014. Disponível em: <http://techoje.com.br/site/techoje/categoria/impressao_artigo/1883>. Acesso em: 05 jun. 2017.

COGEN. ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. **Geração Distribuída – Novo Ciclo de Desenvolvimento**. Disponível em: http://www.cogen.com.br/workshop/2013/Geracao_Distribuida_Calabro_22052013.pdf. Acesso em 10 out 2013.

BIODIESELBR. **Os principais acontecimentos sobre biodiesel**. 2007. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/biodiesel/retrospectiva/2007.htm>>. Acesso em: 07 ago. 2017.

Carvalho Jr. J.A., Lacava, P.T., Emissões em Processos de Combustão, Ed. Unesp, 2003.

Carvalho Jr. J.A., McQuay, M.Q., Princípios de Combustão Aplicada, Ed. UFSC, 2007.

CORRÊA, Ila Maria et al. **Desempenho de motor diesel com misturas de biodiesel de óleo de girassol**. 2008. 6 f. Artigo (Engenharia Rural)- Departamento de Engenharia/DEG, Universidade Federal de Lavras/UFLA, Departamento de Engenharia/DEG, 2008. 1.

ENERGIA, Portal. **Biocombustíveis vantagens e desvantagens**. 2012. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/biocombustiveis-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em: 07 ago. 2017.

EPE. EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. Legislação. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/quemsomos/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 10 jun 2017.

INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética-. **O QUE É GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em: 18 jul. 2017.

FCTUC. FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA. Geração Distribuída de Energia Elétrica. Disponível em: http://lge.deec.uc.pt/ensino/gee/trabalhos%20pesquisa/2004_2005/geracao%20distribuida/GEE_Re_latorio.pdf . Acesso em 1 out 2013.

GAZZONI, Décio Luiz. **Os desafios do biodiesel de algas**. 2012. Disponível em: <<http://www.gazzoni.eng.br/pagina40.htm>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

GERAPOW. **Manual de Utilização Grupo Gerador a Gera Power – CL**. 2017

GONÇALVES FILHO, Francisco Molinari; GARBELINI, Luigi Marani; IZYCKI, Luis Guilherme. **ESTUDO DE CASO PARA IMPLANTAÇÃO DE GRUPO MOTO-GERADOR NA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**. 2014. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Statistical Databasis. Disponível em Acesso em: 12 jul 2017.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Funcionamento do Motor de Combustão Interna**. 2015. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>>. Acesso em: 07 ago. 2017.

INEE. INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Notas sobre geração** **Distribuída**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/downloads/forum/Notas%20sobre%20GD.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2017.

KERDNA, Produção Editorial Ltda. **Biocombustível**. 2010. Disponível em: <<http://biocombustivel.info/>>. Acesso em: 18 jul. 2017

LOREIRO, Eduardo. **Parâmetros de projeto e operação**. Disponível em: <<http://eduloureiro.dominiotemporario.com/doc/MTAula6.pdf>> Acesso em: 19.09.2016

MACEDO, I. C. **Pesquisa, desenvolvimento e transferência de tecnologia para cadeia produtiva da cana-de-açúcar no Brasil: desafios e oportunidades**. 2001. 35 p. Documento para discussão.

Michels, C.S.M., Marques, D.O., Silva R.E.P., Análise de Desempenho e Emissões de Poluentes em um Grupo Gerador Diesel, Anais do VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2014

MME, Ministério de Minas e Energia. **PROCESSO DE CONTAS ANUAIS**. 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/auditorias/processos-de-contas-anuais/2015>>. Acesso em: 07 ago. 2017.

MORAN, Michael J. et al. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 6. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editora Nacional, 2009. 378 p.

OLADE. ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA. **Curso de La Generación Distribuida**. SABA System., 2011. Disponível em: <http://www.olade.org/elearning>. Acesso em 15 jun 2017.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Tecbio, 2003.

PERES, José Roberto Rodrigues; JUNIOR, Elias de Freitas; GAZZONI, Décio Luis . Biocombustíveis Uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, [S.l.], v. 1, n. 11, p. 1-11, mar. 2005. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/viewFile/528/478>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

PETROBRÁS. **Óleo Diesel**. Disponível em: <http://www.br.com.br/pc/home!/ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8zi3Q183A39TQy9_F1NLQwcHQ3MwixCDI0MzA30wwkpiAJKG-AAjiD9UWAluEwIMoQqwGNGQW6EQaajoiIAB9YTng!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/>> . Acesso em 25 de jun. 2017.

PULKRABEK, Willard W. **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine**. 2 ed. New Jersey: Upper Saddle River, 2004.

REVISTA ENERGIA NA AGRICULTURA: COMPARAÇÃO DO CUSTO DE PRODUÇÃO DO CRAMBE (Crambe abyssinica Hochst) COM OUTRAS CULTURAS OLEAGINOSAS EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO. Botucatu: Revista Energia na Agricultura, v. 25, n. 4, 2010. Mensal. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjIuo24_ZbWAhVHI5AKHcROCWAQFggnMAA&url=http://irriga.fca.unesp.br/index.php/energia/article/download/96/64&usg=AFQjCNG0WJHJeSLi755PKnOCgWsFJ6YeoQ>. Acesso em: 08 ago. 2017.

RODRIGUES Caio; WERNECK, Mariana. **Transporte de combustíveis no Brasil Investimentos para o abastecimento até 2020**. 2016. Disponível em: <<http://www.tecnologistica.com.br/portal/artigos/70764/transporte-de-combustiveis-no-brasil-investimentos-para-o-abastecimento-ate-2020/>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

ROESSING, A.C. & STOLF, L.C. **Soja: aspectos econômicos e contribuição para o crescimento da economia brasileira**. 1998. (Mimeografado).

SILVA, R. E. P. **Utilização de biodiesel animal em turbinas a gás**. 2009. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

SANTOS, W. C. dos; **A cultura do dendê**. Brasília, DF: Embrapa-CPAA; Embrapa-SPI, 1995. 68 p. (Coleção Plantar, 32)

TAYLOR, C.F. **Análise dos Motores de Combustão Interna. Volume 2**. São Paulo, Edgard Blücher. Ed. da Universidade de São Paulo, 1976.

TOMM, G. O. Situação atual e perspectivas da canola no Brasil. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 2 p.html. 4ilust. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 58). Disponível em: . Acesso em: 12 dez. 2004 TOMM, G. O. Manual para cultivo de canola: indicações para cultivo de canola no Rio Grande do Sul. Santa Rosa: Camera Alimentos, 2003a. 22 p.

URABIO. **Uso de biodiesel em teor maior que o obrigatório depende do mercado consumidor**. 2015. Disponível em: <http://www.ubrablo.com.br/1891/noticias/usodebiodieselemteormaiorqueoobrigatoriodependedo_254111/>. Acesso em: 07 ago. 2017.

VIANNA, J. N. de S; WEHRMANN, M. E. S. de F. & DUARTE, L. M. G. **A soja e a contribuição de oleaginosas para a produção de biodiesel no Brasil**. 2005 (no prelo).

VEIGA, A. S.; FURLAN JÚNIOR, J.; KALTNER, F. J. Situação atual e perspectivas futuras da dendeicultura nas principais regiões produtoras: **A experiência do Brasil**. In:

SEMINÁRIO INTERNACIONAL AGRONEGÓCIO DO DENDÊ: UMA ALTERNATIVA SOCIAL, ECONÔMICA E AMBIENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA, 2000, Belém. Resumos... Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 23. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 60).

ZYLBERSTAJN, D.; COELHO, S. T.; IENO, G. O. Potencial de geração de eletricidade na Amazônia a partir de resíduos agrícolas. São Paulo: Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia, 1996.

WEHRMANN, Magda Eva S. de F.; VIANNA, João Nildo de S.; DUARTE, Laura M. G.. **BIODIESEL DE SOJA: POLÍTICA ENERGÉTICA, CONTRIBUIÇÃO DAS OLEAGINOSAS E SUSTENTABILIDADE**. Brasília: Annpas, 2004. 22 p. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj7wd3As-vVAhVES5AKHTMTBxUQFggmMAA&url=http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro3/arquivos/TA457-28032006-162404.DOC&usg=AFQjCNH21h_Kfc7M6ZIm2IOYSsVlo_p-Xw>. Acesso em: 19 jul. 2017.

ANEXOS

ANEXO A – DADOS ATMOSFÉRICOS COLETADOS NO PRIMEIRO DIA DE EXPERIMENTO.

29/06/2017	
PRESSÃO (Hpa):	962,7
TEMPERATURA (°C):	24,1
UMIDADE RELATIVA DO AR (%):	37
PESO TOTAL DA MISTURA + RESERVATÓRIO (g):	4818
TEMPO (SEGUNDOS):	180

ANEXO B – DADOS COLETADOS PARA MISTURA B00

B00										
DEMANDA	POTÊNCIA DA CARGA (kW)	ROTAÇÃO (rpm)	MASSA (g)	POTÊNCIA ENTREGUE (Kw)	ÓXIDO DE NITROGENIO (Nox)	MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	METANO (CH4)	DIÓXIDO DE CARBONO (CO2)	PCS (kJ.kg-1)	PCI (kJ.kg-1)
0 W	0,000	3551	4738,000	0,000	174,754	1234,344	131,992	0,735	40981,793	38386,335
350 W	0,350	3507	4698,000	0,260	193,598	1119,045	121,886	0,771	40981,793	38386,335
700 W	0,700	3462	4667,000	0,500	210,040	1025,360	105,976	0,791	40981,793	38386,335
1050 W	1,050	3387	4634,000	0,800	189,842	952,450	91,450	0,822	40981,793	38386,335
1400 W	1,400	3348	4596,000	1,130	178,076	884,454	79,840	0,783	40981,793	38386,335
1750W	1,750	3344	4553,000	1,480	172,148	860,530	75,748	0,778	40981,793	38386,335
2100W	2,100	3357	4508,000	1,760	165,836	833,362	64,690	0,756	40981,793	38386,335
2450W	2,450	3372	4460,000	2,150	158,748	833,000	66,017	0,738	40981,793	38386,335
2800W	2,800	3314	4404,000	2,390	0	420,767	51,562	0,778	40981,793	38386,335
3150W	3,150	3328	4326,000	2,650	28,200	381,724	12,724	0,634	40981,793	38386,335

ANEXO C – DADOS ATMOSFÉRICOS COLETADOS NO SEGUNDO DIA DE EXPERIMENTO PELA MANHÃ.

03/07/2017	
PRESSÃO (Hpa):	969,5
TEMPERATURA (°C):	18,9
UMIDADE RELATIVA DO AR (%):	42
PESO TOTAL DA MISTURA + RESERVATÓRIO (Kg):	3422

ANEXO D – DADOS COLETADOS PARA MISTURA B10

<i>B10</i>										
DEMANDA	POTÊNCIA DA CARGA (kW)	ROTAÇÃO (rpm)	MASSA (g)	POTÊNCIA ENTREGUE (Kw)	ÓXIDO DE NITROGENIO (Nox)	MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	METANO (CH4)	DIÓXIDO DE CARBONO (CO2)	PCS (kJ.kg-1)	PCI (kJ.kg-1)
0 W	0,000	3635	3401,000	0,000	40,665	401,659	29,265	0,743	47422,444	44554,917
350 W	0,350	3612	3380,000	0,310	43,771	399,656	27,281	0,798	47422,444	44554,917
700 W	0,700	3583	3353,000	0,620	54,390	318,630	25,890	0,834	47422,444	44554,917
1050 W	1,050	3553	3329,000	0,950	63,413	235,529	17,779	0,833	47422,444	44554,917
1400 W	1,400	3524	3283,000	1,270	71,230	174,814	9,540	0,833	47422,444	44554,917
1750W	1,750	3460	3240,000	1,390	78,367	127,827	7,112	0,803	47422,444	44554,917
2100W	2,100	3060	3204,000	1,490	66,273	86,282	3,009	0,608	47422,444	44554,917
2450W	2,450	2993	3164,000	1,620	60,805	53,274	9,912	0,536	47422,444	44554,917
2800W	2,800	2955	3124,000	1,830	61,936	42,459	12,018	0,526	47422,444	44554,917
3150W	3,150	2927	3083,000	1,950	63,897	42,000	17,299	0,524	47422,444	44554,917

ANEXO E – DADOS COLETADOS PARA MISTURA B20

B20										
DEMANDA	POTÊNCIA DA CARGA (kW)	ROTAÇÃO (rpm)	MASSA (g)	POTÊNCIA ENTREGUE (Kw)	ÓXIDO DE NITROGENIO (Nox)	MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	METANO (CH4)	DIÓXIDO DE CARBONO (CO2)	PCS (kJ.kg-1)	PCI (kJ.kg-1)
0 W	0,000	3604	3340,000	0,000	23,645	599,654	69,213	0,829	46706,817	43869,519
350 W	0,350	3595	3316,000	0,310	27,745	608,660	72,009	0,866	46706,817	43869,519
700 W	0,700	3567	3289,000	0,600	40,916	614,879	84,009	1,037	46706,817	43869,519
1050 W	1,050	3553	3260,000	0,960	66,973	491,099	77,919	1,196	46706,817	43869,519
1400 W	1,400	3520	3227,000	1,290	96,396	377,142	64,764	1,354	46706,817	43869,519
1750W	1,750	3460	3185,000	1,350	123,808	297,952	53,269	1,510	46706,817	43869,519
2100W	2,100	3065	3150,000	1,460	152,593	158,441	36,975	1,384	46706,817	43869,519
2450W	2,450	3000	3122,000	1,660	164,777	157,723	38,982	1,389	46706,817	43869,519
2800W	2,800	2965	3063,000	1,830	174,372	124,451	30,212	1,401	46706,817	43869,519
3150W	3,150	2027	3022,000	1,950	180,145	124,624	26,966	1,425	46706,817	43869,519

ANEXO F – DADOS COLETADOS PARA MISTURA B30

B30										
DEMANDA	POTÊNCIA DA CARGA (kW)	ROTAÇÃO (rpm)	MASSA (g)	POTÊNCIA ENTREGUE (Kw)	ÓXIDO DE NITROGENIO (Nox)	MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	METANO (CH4)	DIÓXIDO DE CARBONO (CO2)	PCS (kJ.kg-1)	PCI (kJ.kg-1)
0 W	0,000	3606	3350,000	0,000	37,592	590,667	84,525	0,936	45991,189	43184,121
350 W	0,350	3592	3320,000	0,290	56,945	632,117	110,125	1,190	45991,189	43184,121
700 W	0,700	3563	3290,000	0,610	91,852	492,496	94,930	1,381	45991,189	43184,121
1050 W	1,050	3545	3257,000	0,940	121,459	373,349	86,789	1,390	45991,189	43184,121
1400 W	1,400	3522	3207,000	1,240	147,500	293,764	72,330	1,681	45991,189	43184,121
1750W	1,750	3457	3175,000	1,550	172,372	237,637	67,310	1,757	45991,189	43184,121
2100W	2,100	3015	3158,000	1,420	187,491	202,914	64,836	1,657	45991,189	43184,121
2450W	2,450	2977	3137,000	1,610	191,171	164,590	63,393	1,618	45991,189	43184,121
2800W	2,800	2969	3060,000	1,710	203,330	158,983	59,696	1,651	45991,189	43184,121
3150W	3,150	2025	3015,000	1,960	217,026	148,713	49,548	1,651	45991,189	43184,121

ANEXO G – DADOS ATMOSFÉRICOS COLETADOS NO SEGUNDO DIA DE EXPERIMENTO A TARDE.

03/07/2017	
PRESSÃO (Hpa):	966,1
TEMPERATURA (°C):	24,4
UMIDADE RELATIVA DO AR (%):	38
PESO TOTAL DA MISTURA + RESERVATÓRIO (Kg):	3336

ANEXO H – DADOS COLETADOS PARA MISTURA B50

B50										
DEMANDA	POTÊNCIA DA CARGA (kW)	ROTAÇÃO (rpm)	MASSA (g)	POTÊNCIA ENTREGUE (Kw)	ÓXIDO DE NITROGENIO (Nox)	MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	METANO (CH4)	DIÓXIDO DE CARBONO (CO2)	PCS (kJ.kg-1)	PCI (kJ.kg-1)
0 W	0,000	3602	3328,000	0,000	17,842	332,079	9,991	0,508	44559,933	41813,325
350 W	0,350	3590	3300,000	0,290	37,649	317,833	18,465	0,665	44559,933	41813,325
700 W	0,700	3574	3270,000	0,590	56,526	230,202	10,246	0,748	44559,933	41813,325
1050 W	1,050	3545	3230,000	0,910	72,560	182,456	1,656	0,824	44559,933	41813,325
1400 W	1,400	3510	3196,000	1,250	83,807	145,833	2,026	0,880	44559,933	41813,325
1750W	1,750	3355	3160,000	1,450	75,548	104,417	7,339	0,713	44559,933	41813,325
2100W	2,100	3026	3119,000	1,410	70,576	67,112	14,216	0,591	44559,933	41813,325
2450W	2,450	2975	3085,000	1,610	69,175	64,000	16,544	0,548	44559,933	41813,325
2800W	2,800	2933	3042,000	1,740	63,750	55,905	21,345	0,491	44559,933	41813,325
3150W	3,150	2388	2997,000	1,960	67,639	55,361	25,107	0,511	44559,933	41813,325

ANEXO I – DADOS COLETADOS PARA MISTURA B70

B70										
DEMANDA	POTÊNCIA DA CARGA (kW)	ROTAÇÃO (rpm)	MASSA (g)	POTÊNCIA ENTREGUE (Kw)	ÓXIDO DE NITROGENIO (Nox)	MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	METANO (CH4)	DIÓXIDO DE CARBONO (CO2)	PCS (kJ.kg-1)	PCI (kJ.kg-1)
0 W	0,000	3600	3419,000	0,000	32,639	338,361	9,107	0,511	43128,677	40442,529
350 W	0,350	3570	3391,000	0,280	56,203	340,992	16,520	0,889	43128,677	40442,529
700 W	0,700	3553	3362,000	0,610	61,372	386,221	32,920	1,023	43128,677	40442,529
1050 W	1,050	3540	3322,000	0,930	85,828	328,422	30,336	1,178	43128,677	40442,529
1400 W	1,400	3515	3292,000	1,250	111,417	269,725	24,858	1,338	43128,677	40442,529
1750W	1,750	3317	3258,000	1,400	134,544	221,7	16,368	1,483	43128,677	40442,529
2100W	2,100	2982	3225,000	1,390	124,431	108,220	14,908	1,212	43128,677	40442,529
2450W	2,450	2957	3185,000	1,600	138,736	95,686	15,198	1,210	43128,677	40442,529
2800W	2,800	2924	3143,000	1,770	157,570	91,096	12,114	1,314	43128,677	40442,529
3150W	3,150	2895	3095,000	1,800	175,484	119,444	10,234	1,445	43128,677	40442,529

ANEXO J – DADOS COLETADOS PARA MISTURA B100

B100										
DEMANDA	POTÊNCIA DA CARGA (kW)	ROTAÇÃO (rpm)	MASSA (g)	POTÊNCIA ENTREGUE (Kw)	ÓXIDO DE NITROGENIO (Nox)	MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	METANO (CH4)	DIÓXIDO DE CARBONO (CO2)	PCS (kJ.kg-1)	PCI (kJ.kg-1)
0 W	0,000	3600	3340,000	0,000	25,053	218,333	1,439	0,495	40981,793	38386,335
350 W	0,350	3580	3308,000	0,280	37,518	213,088	4,728	0,628	40981,793	38386,335
700 W	0,700	2951	3282,000	0,340	25,983	147,508	3,780	0,469	40981,793	38386,335
1050 W	1,050	3000	3260,000	0,410	21,000	105,931	1,672	0,377	40981,793	38386,335
1400 W	1,400	2860	3232,000	0,700	27,521	85,103	11,265	0,418	40981,793	38386,335
1750W	1,750	2854	3208,000	1,020	32,509	66,509	9,430	0,440	40981,793	38386,335
2100W	2,100	2837	3172,000	1,250	38,487	47,726	11,111	0,469	40981,793	38386,335
2450W	2,450	2806	3136,000	1,410	49,237	45,000	9,947	0,544	40981,793	38386,335
2800W	2,800	2742	3098,000	1,610	55,097	45,000	15,504	0,547	40981,793	38386,335
3150W	3,150	2850	3058,000	1,750	60,283	45,000	16,761	0,565	40981,793	38386,335

ANEXO K – DADOS UTILIZADOS PARA CALCULAR O PCS E O PCI DAS MISTURAS.

	BIODIESEL (C18.74H34.43O2)			Massa molecular total	DIESEL C9.84H17.95		Massa molecular total
Elementos	C	H	O		C	H	
Quantidade na mistura	18,74	34,43	2			9,84	
Massa atômica	12	1	16		12	1	
Massa molecular	224,88	34,43	32	291,31	118,08	17,95	136,03
Massa molecular média	0,77196114	0,1181902	0,1098486		0,868043814	0,131956186	
PCS (kJ.kg-1)	4,10E+04				PCS	48138,0724840109 kJ.kg-1	
PCI (kJ.kg-1)	3,84E+04				PCI	45240,3146364772 kJ.kg-1	

ANEXO L – CONSUMO CALCULADO PARA CADA MISTURA.

DEMANDA	CONSUMO (g)						
	B00	B10	B20	B30	B50	B70	B100
0 W	80,000	21,000	16,000	19,000	8,000	27,000	18,000
350 W	40,000	21,000	24,000	30,000	28,000	28,000	32,000
700 W	31,000	27,000	27,000	30,000	30,000	29,000	26,000
1050 W	33,000	24,000	29,000	33,000	40,000	40,000	22,000
1400 W	38,000	46,000	33,000	50,000	34,000	30,000	28,000
1750W	43,000	43,000	42,000	32,000	36,000	34,000	24,000
2100W	45,000	36,000	35,000	38,000	41,000	33,000	36,000
2450W	48,000	40,000	28,000	21,000	34,000	40,000	36,000
2800W	56,000	40,000	59,000	98,000	43,000	42,000	38,000
3150W	78,000	41,000	41,000	45,000	45,000	48,000	40,000