

DANILO LEITE

**DESEMPENHO E EMISSÕES DE MOTOR GERADOR OPERANDO
COM BLENDA DE DIESEL/ÓLEO DE SOJA, DIESEL/ÓLEO DE
LINHAÇA E DIESEL/ÓLEO DE CRAMBE**

**CASCVEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2018**

DANILO LEITE

**DESEMPENHO E EMISSÕES DE MOTOR GERADOR OPERANDO
COM BLENDS DE DIESEL/ÓLEO DE SOJA, DIESEL/ÓLEO DE
LINHAÇA E DIESEL/ÓLEO DE CRAMBE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos

COORIENTADOR: Prof. Dr. Flávio Gurgacz;
Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

**CASCABEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Sistema de Bibliotecas - UNIOESTE)

L551d	<p>Leite, Danilo. Desempenho e emissões de motor gerador operando com blendas de diesel/óleo de soja, diesel/óleo de linhaça e diesel/óleo de crambe / Danilo Leite. --- Cascavel (PR), 2018. viii, 58 f.: il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Co-orientador: Prof. Dr. Flávio Gurgacz. Co-orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2018, Programa de Pós-Graduação Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura. Inclui Bibliografia</p> <p>1. Energia. 2. Óleo vegetal. 3. Biocombustível. I. Santos, Reginaldo Ferreira. II. Gurgacz, Flávio. III. Souza, Samuel Nelson Melegari de. IV. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. V. Título.</p> <p>CDD 333.794</p>
-------	--

DANILO LEITE

**“DESEMPENHO E EMISSÕES DE MOTOR GERADOR OPERANDO
COM BLENDA DE DIESEL/ÓLEO DE SOJA, DIESEL/ÓLEO DE
LINHAÇA E DIESEL/ÓLEO DE CRAMBE”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e Culturas Energéticas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:


Orientador(a) - Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Jair Antonio Cruz Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Douglas Basségio

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre nos permitir a construção do conhecimento e pela força e perseverança concedida para concluir esta jornada.

Aos meus pais, Nelson Carlos Leite e Itelvina Valério Leite, que enfrentando seus leões permitiram aos seus filhos Daniel, Danilo e Daiane a oportunidade de estudar.

A minha esposa, Adeline Maria Barradas Leite, pelo apoio, paciência, compreensão e pela dedicação dada ao nosso filho, auxiliando diariamente nesta importante missão.

Ao meu filho, Josué Felipe Barradas Leite por ser a inspiração das conquistas diárias e por tão pequeno já saber incentivar as pessoas em sua volta. “Papai, vai lá e termina a sua máquina!”.

Ao professor orientador Dr. Reginaldo Ferreira Santos pelas orientações concedidas e por acreditar neste projeto.

Ao Centro de Desenvolvimento e Difusão Tecnológico em Energias Renováveis – CDTER pelo apoio concedido durante as atividades de pesquisa.

Aos demais docentes membro do Programa de Engenharia de Energia na Agricultura – PPGA da Unioeste, instituição que permiti um ensino público e de qualidade.

Ao SENAI, pela disponibilidade das oficinas para desenvolvimento do projeto e realização dos ensaios.

“...Se podes alguma coisa!...tudo é possível ao que crê.”

Marcos 9:23

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

A - ampère

ABNT – associação brasileira de normas técnicas

ANP – agência nacional de petróleo, gás natural e biocombustíveis

dB - decibel

°C – graus celsius

CE – consumo específico

CH – consumo horário

g - grama

GLP - gás liquefeito de petróleo

HP – horse power

kg - quilograma

kJ – quilo-joules

kW – quilowatts

NA – normalmente aberta

NBR – norma brasileira

PCI – poder calorífico inferior

PCS – poder calorífico superior

PNPB - programa nacional de produção e uso do biodiesel

rpm – rotações por minuto

SEMA – secretaria do meio ambiente e recursos hídricos

UNIOESTE – universidade estadual do oeste do paraná

V - volt

W - watts

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Prensagem mecânica contínua.....	7
Figura 2: Representação do ciclo de carbono.....	10
Figura 3: Estágios do motor ciclo diesel.....	15
Figura 4: Gerador de quatro pólos magnéticos.....	16
Figura 5: Conjunto motor gerador utilizado nos ensaios.....	19
Figura 6: Banco de Resistência.....	21
Figura 7: Prensa Extrusora Bindgalvão.....	21
Figura 8: Ensaio de viscosidade cinemática.....	23
Figura 9: Ensaio de densidade a 20°C.....	24
Figura 10: Placa de Aquisição de dados – Arduino.....	26
Figura 11: Medidor Digital, PZEM -021.....	27
Figura 12: Alicate amperímetro ET – 3990.....	27
Figura 13: (a) célula de carga; (b) massa padrão.....	29
Figura 14: Sistema de alimentação de combustível com célula de carga.....	30
Figura 15: Decibilímetro.....	31
Figura 16: Analisador portátil de gases da combustão.....	32
Figura 17: Instalação da sonda de amostragem dos gases.....	33
Figura 18: Viscosidade dos combustíveis (cSt).....	35
Figura 19: Densidade dos combustíveis (g.cm-3).....	37
Figura 20: Potência efetiva (kW) para carga resistiva de 750W.....	38
Figura 21: Potência efetiva (kW) para carga resistiva de 1500W.....	38
Figura 22: Potência efetiva (kW) para carga resistiva de 3000W.....	39
Figura 23: Consumo horário volumétrico por carga resistiva.....	40
Figura 24: Consumo específico dos combustíveis por carga resistiva.....	41
Figura 25 - Ruído à carga máxima resistiva (3000W).....	43
Figura 26: Emissões de monóxido de carbono (CO).....	45
Figura 27: Emissões de dióxido de carbono (CO ₂).....	47
Figura 28: Concentração de óxido de nitrogênio (NO _x).....	48
Figura 29: Concentração de dióxido de enxofre (SO ₂).....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Custos da produção de 1t de óleo neutralizado por região produtora	6
Tabela 2: Propriedades físico-químicas de óleos vegetais combustíveis, biodiesel e diesel.....	12
Tabela 3: Combustíveis utilizados no experimento	18
Tabela 4: Representação visual dos combustíveis ensaiados	19
Tabela 5: Especificações técnicas conjunto motor gerador Kawashima, mod. DG - 6000S	20
Tabela 6: Combustíveis com diferentes teores de óleo vegetal	25
Tabela 7: Especificações técnicas Medidor Digital, PZEM -021.....	27
Tabela 8: Especificações técnicas Alicata Amperímetro Digital, ET - 3990	28
Tabela 9: Especificações técnicas Célula de Carga, SV 50	29
Tabela 10: Especificações técnicas decibelímetro	31
Tabela 11: Viscosidade dos Combustíveis (cSt)	34
Tabela 12: Densidade dos combustíveis (g.cm ⁻³)	36
Tabela 13: Consumo específico e consumo horário dos combustíveis	40
Tabela 14: Teste de Tukey com nível de confiabilidade de 95%.....	43
Tabela 15: Emissões médias e temperaturas	44

LEITE, Danilo. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro de 2018. **Desempenho e emissões de motor gerador operando com blendas de diesel/óleo de soja, diesel/óleo de linhaça e diesel/óleo de crambe.** Professor Orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Professor Co-orientador: Dr. Flávio Gurgacz; Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

RESUMO

No Brasil, comunidades rurais afastadas dos grandes centros, distantes das redes de transmissão e distribuição de energia, carecem de energia elétrica dificultando o progresso econômico local. Assim, uma alternativa para a solução do problema é a própria geração de energia através de combustíveis a base de óleo vegetal, matéria prima local, renovável e de menor impacto ambiental, justificando este trabalho. Avaliou-se o desempenho e emissões de um conjunto motor gerador diesel operando com combustíveis a base de óleo vegetal de soja, linhaça e crambe. Os combustíveis foram ensaiados a partir de um conjunto motor gerador de 5kVA, sem adaptação mecânica e ligado a um banco de cargas resistivas fabricado para dissipação da energia elétrica gerada. Os biocombustíveis foram obtidos da mistura do óleo diesel convencional com óleo de soja, linhaça e crambe em níveis incrementais de 10%, 30%, 50% e 70% de óleo vegetal na composição da mistura combustível e submetidos a análise físico-química de viscosidade e densidade. Na avaliação de desempenho do conjunto motor gerador foram realizadas medições de tensão (V), corrente elétrica (A), frequência da corrente elétrica (Hz), potência elétrica (W), consumo mássico (g), ruído do conjunto motor gerador (dB) e realizado a medição da concentração dos gases de exaustão. Os resultados dos estudos realizados apontam que misturas do diesel convencional (B8) com óleo vegetal de soja, linhaça e crambe, em concentrações de até 30%, apresentam-se como uma alternativa técnica eficaz na substituição parcial do diesel convencional na produção de energia elétrica, com redução nos níveis de emissões e manutenção de desempenho do conjunto motor gerador.

Palavras-chave: Energia; óleo vegetal; biocombustível.

LEITE, Danilo. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, February 2018. **Engine performance and emissions generator operating with blends of diesel/ soybean oil, diesel/linseed and diesel oil/crambe oil.** Teacher Coordinating: Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Teacher Co-coordinating: Dr. Flávio Gurgacz; Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

ABSTRACT

In Brazil, rural communities away from the big centers, away from transmission and distribution electric grid, doesn't have electric power hindering local economic progress. So, an alternative to a solution of the problem is a source of energy through fuels a base of vegetable oil, local raw material, renewable and of less environmental impact, justifying this work. The production service and the performance and emissions of a diesel generator set operating with fuels a vegetable oil base of soybean, linseed and crambe. The fuels were tested from a 5kVA generator set, without mechanical adaptation and connected to a electrical charges bank manufactured to dissipate the generated electric energy. Biofuels were obtained from the mixture of conventional diesel oil with soybean oil, linseed and crambe at incremental levels of 10%, 30%, 50% and 70% of vegetable oil in the composition of the fuel mixture and submitted to physicochemical viscosity analysis and density. In the evaluation of the performance of the generator was measured voltage (V), electric current (A), frequency of electric current (Hz), electrical power (W), wight (g), generator set noise (dB) and measured the exhaust gas concentration. The results of the studies show us that mixtures of conventional diesel (B8) with vegetable oil of soybean, linseed and crambe, in concentrations of up to 30%, presented with an effective technical alternative for a partial replacement of conventional diesel in the production of electric power, with reduction in emission levels and maintenance of the performance of the generator set.

Keywords: Energy; vegetable oil; biofuel.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Óleos Vegetais Como Fonte Energética	4
2.2 Obtenção e Processamento dos Óleos Vegetais	6
2.3 O Uso do Óleo Vegetal na Geração de Energia Elétrica	8
2.4 Níveis de Emissões do Uso do Óleo Vegetal como Combustível	9
2.5 Caracterização dos Combustíveis	11
2.6 Grupo Motor Gerador	14
2.7 Comportamento Termomecânico em Conjunto Motor Gerador	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 Local do Experimento	18
3.2 Descrição Geral do Experimento	18
3.2.1 Fabricação e Montagem do Banco de Cargas Resistivas	20
3.2.2 Extrusão dos óleos vegetais	21
3.2.3 Análise Físico-Química dos Combustíveis	22
3.2.3.1 Viscosidade Cinemática	22
3.2.3.2 Densidade à 20°C	24
3.3 Avaliação do Desempenho do Conjunto Motor Gerador	25
3.3.1 Determinação da rotação do conjunto motor gerador	28
3.3.2 Determinação do Consumo específico	28
3.3.3 Nível de Ruído	31
3.4 Emissões	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Análise Físico-Química dos Combustíveis	34
4.1.1 Viscosidade Cinemática	34

4.1.2	Densidade	36
4.2	Avaliação do Desempenho do Conjunto Motor Gerador	37
4.2.1	Potência Efetiva	37
4.2.2	Consumo de combustível	39
4.2.3	Nível de ruído	42
4.3	Análise das Emissões.....	44
4.3.1	Concentração de monóxido de carbono (CO).....	45
4.3.2	Concentração de dióxido de carbono (CO ₂).....	46
4.3.3	Concentração de óxido de nitrogênio (NO _x)	47
4.3.4	Concentração de dióxido de enxofre (SO ₂).....	48
5.	CONCLUSÃO.....	50
6.	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	51
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

O petróleo a partir no início do século XXI tornou-se a principal matéria-prima para a produção dos combustíveis utilizados nos setores do transportes, agricultura e indústria, devido a sua alta densidade energética e sua grande disponibilidade. Entretanto, o uso contínuo dos seus derivados aparece como um dos grandes agentes poluidores do meio ambiente, seja pela sua combustão e liberação dos gases do efeito estufa ou por eventuais derramamentos que ocorrem no solo ou no mar durante o seu transporte (SILVA; FREITAS, 2008).

Segundo Silva e Freitas (2008), a dependência do petróleo como fonte energética e a poluição gerada pelo uso do óleo diesel são os estímulos para a busca de fontes alternativas de energia. Em 1900, antes mesmo da soberania do petróleo, já havia fortes tendências à utilização de fontes alternativas de energia renovável. Naquele ano o inventor alemão Rudolph levou a feira internacional de Paris um motor com um novo sistema de funcionamento, o motor “Ciclo Diesel”, que operava com óleo de amendoim como combustível. Nas primeiras décadas do século XX várias outras oleaginosas foram utilizadas para o seu funcionamento. O alto custo para a produção das sementes fez com que aos poucos os óleos de origem vegetal fossem substituídos pelo “óleo diesel”, derivado do refino do petróleo.

Novamente o cenário mundial apresenta-se favorável ao uso dos biocombustíveis em decorrência do impacto ambiental gerado pelo consumo dos combustíveis derivados do petróleo. Na Alemanha há cerca de 100 mil veículos movidos a óleo vegetal. Lá ainda, o agrocombustível também é utilizado para mover navios, caminhões, ônibus e tratores. Na Rússia há motocicletas circulando com a energia retirada da combustão dos óleos vegetais. Ainda, na Europa, grandes fabricantes de máquinas agrícolas desenvolveram tratores movidos a óleo vegetal. (GUERRA; FUCHS, 2010).

No Brasil a preocupação com a qualidade do ar e seus índices de poluentes vem do final da década de 90, quando o governo federal criou o Programa de Controle de Poluição do Ar (PRONAR) para regulamentar e fiscalizar as fontes emissoras de poluentes. Como agente fiscalizador o programa atuava no efeito e não na causa do problema de emissões, a queima de combustíveis derivados do petróleo. Minimizando parte desta lacuna, a lei federal 11.097/2005 inseriu o biodiesel na matriz energética brasileira, uma fonte de energia limpa e renovável. A lei determinou um aumento

escalonado de biodiesel na mistura com o diesel convencional fornecido nas bombas de combustíveis, com atuais 8% (B8). A meta do governo federal para 2019 é que este valor chegue a 10% (B10).

Sob o ponto de vista ambiental o biodiesel é considerado “neutro em carbono”, pelo fato de que todo carbono liberado em sua queima foi sequestrado a partir da atmosfera durante as fases de crescimento das culturas de óleo vegetal. Em geral, a combustão do biodiesel emite uma menor quantidade de poluentes em relação do diesel (BARNWAL; SHARMA, 2004). Segundo Santos (2013), a participação dos biocombustíveis na matriz energética mundial ainda é baixa, com 2% do mercado mundial de combustíveis, mas há um crescimento da produção e da intenção do mercado de aumentar o consumo de biocombustíveis em virtude dos apelos ambientais para redução das emissões de gases poluentes que causam o aquecimento global.

Paralelamente ao uso do biodiesel como combustível cresce o uso do óleo vegetal *in natura* em motores a combustão. Estudos de Silva e Freitas (2008) com a queima direta de óleo vegetal em motores de combustão mostraram reduções nos índices de poluentes liberados. Guerra e Fuchs (2010) ainda relatam ser um combustível seguro e de baixo custo. O óleo vegetal é ainda um produto biodegradável, sem potencial de contaminação da terra, ar e água.

O Brasil possui um enorme potencial de produção de óleo vegetal, capaz de atender tanto o consumo humano como a produção de energia. O óleo pode ser extraído de diversas culturas oleaginosas que crescem em diferentes condições de solo e clima (edafoclimáticas). No que diz respeito ao processo de obtenção do óleo vegetal, a produção de óleo pode ser feita tanto por grandes como pequenos produtores rurais, descentralizando a cadeia produtiva (GUERRA; FUCHS, 2010).

O cultivo de culturas energéticas por parte dos produtores rurais é uma alternativa para as demandas do setor elétrico brasileiro no meio rural, visto que os investimentos governamentais e privados não acompanham a demanda crescente e irregular. Os produtores rurais optam pela contratação de energia elétrica pelo regime de tarifas especiais e/ou utilizam motor geradores para o suprimento de energia em “horário de pico”, reduzindo os custos de energia elétrica. Desta forma, a autoprodução de óleo vegetais e uso direto em motor gerador representa uma opção para os consumidores que buscam uma alternativa para a redução das tarifas de energia elétrica (REIS et al., 2013).

Ainda, no Brasil imensas áreas territoriais povoadas por comunidades isoladas não tem acesso a energia elétrica, como é caso da Amazônia. Lá, os custos elevados de eletrificação das comunidades, seja pela distância da rede de energia ou pelo custo de transporte do óleo diesel, dificultam avanços no fornecimento de energia local (GONZALEZ et al., 2008).

Em linha com a questão da sustentabilidade ambiental, desenvolvimento social e com base no potencial agrícola brasileiro esta pesquisa pretende avaliar o desempenho de um motor gerador operando com misturas de óleo diesel e óleos vegetais de soja, linhaça e crambe em conjunto com a análise de emissões geradas, de modo a prover embasamento técnico-científico para trabalhos posteriores de desenvolvimento e pesquisa nesta temática.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Óleos Vegetais Como Fonte Energética

O Brasil, em função da sua biodiversidade e das suas condições edafoclimáticas, é uma das referências mundiais na utilização da biomassa como fonte energética. O país conta com uma enorme diversidade de oleaginosas com potencial para a produção de combustíveis a base de óleo vegetal como a soja, o girassol, o amendoim, o caroço de algodão, o crambe, a linhaça e outras culturas oleaginosas. Atualmente a soja é principal matéria-prima para a produção de biodiesel, correspondendo a 80% de toda matéria-prima utilizada na produção do biocombustível (OLIVEIRA; REYS, 2009).

A soja (*Glycine max (L.) Merril*) ainda não é considerada a melhor opção sob o ponto de vista de teor de óleo, balanço energético e de ocupação de terras, mas quando trata-se de preço e disponibilidade de matéria-prima acaba deixando as outras oleaginosas para trás (LEITE; LEAL, 2007). Conforme Liu (1997) a soja possui teor de óleo que varia de acordo com o cultivar e com as condições de crescimento, no entanto seus grãos de soja possuem teor de óleo de 15 a 20%.

Segundo Dallagnol (2007) o pacote tecnológico atrelado a cultura da soja são importantes fatores para a utilização da soja como principal matéria-prima na produção dos biocombustíveis. A soja por ser uma cultura tradicional, plantada de norte a sul do Brasil, conta com uma cadeia produtiva estruturada, alta tecnologia de produção, centros de pesquisa, além de ser um dos óleos vegetais de menor custo.

Existem diversas culturas energéticas que em comparação a soja apresentam rendimento em óleo superior por hectare cultivado, porém, não são direcionadas para a produção de biocombustíveis por apresentarem óleo com propriedades nutricionais superior ao óleo de soja, o que agrega valor comercial ao produto, tornando-o atrativo para o setor alimentício e pouco competitivo no mercado de biocombustíveis (DELALIBERA, 2014). No entanto, para a produção de biocombustíveis, empresas, órgãos estaduais e federais vêm intensificando a busca matérias-primas alternativas, e avaliando paralelamente os aspectos agrônômicos e tecnológicos, como teor de óleo, produtividade, sistema produtivo, ciclo da cultura, etc (JASPER et al., 2010).

Um exemplo é a Linhaça (*Linum usitatissimum*), cujo teor de óleo das sementes está entre 40-45%, sendo o seu óleo muito utilizado pelas indústrias químicas na fabricação de tintas, vernizes e na indústria de alimentos pela qualidade nutricional de seu óleo (RABETAFIKA; REMOORTEL; DANTHINE, 2011). Quando o assunto é competitividade em áreas já cultivadas por outras culturas como a soja, esta é uma excelente opção. Pode-se utilizar a linhaça para preencher períodos onde as áreas acabam ficando subutilizadas, como o inverno, onde muitas vezes estão em pousio ou cultivadas com alguma cultura de cobertura. Além de seu custo de produção ser relativamente baixo em relação ao cultivo de outras oleaginosas (DELALIBERA 2014).

O crambe (*Crambe abyssinica Hochst*) é outra oleaginosa com bastante potencial para a produção de biocombustíveis. Originária da África é de fácil adaptação em vários climas sendo cultivada em vários países. No Brasil a cultura se adaptou muito bem ao clima ao tolerar o estresse hídrico e a geada e como cultura de inverno pode ser uma alternativa para ser plantada após a colheita da soja (COLODETTI et al., 2012; KNIGHTS, 2003). Os grãos de crambe possuem alto teor de óleo vegetal, com valores entre 30 e 45%, o qual não pode ser utilizado no setor alimentício pela presença de ácido erúrico, apresentando potencial na produção de biocombustíveis. É uma planta de cultivo totalmente mecanizado além de possuir um bom potencial produtivo. Na produção do biodiesel o biodiesel produzido pelo óleo de crambe apresenta-se mais estável que o produzido a partir do óleo de soja em virtude da sua alta estabilidade oxidativa (PLEIN et al., 2010; WAZILEWSKI et al., 2013).

A potencialidade dos óleos vegetais como combustível, em geral, é favorecida por aspectos logísticos que não são inerentes a produção dos combustíveis convencionais ou do próprio biodiesel, correto ecologicamente. Para o óleo vegetal é possível utilizar numerosas pequenas usinas descentralizadas em qualquer lugar do país, já para a produção do biodiesel se faz necessário poucas usinas centrais de grande porte. Outro importante fator para impulsionar o uso dos óleos vegetais como combustível o seu valor de comercialização, a Tabela 1 apresenta os custos da produção do óleo de soja neutralizado, ou seja, livre de impurezas, por região produtora do país (GUERRA; FUCHS, 2010; VIVIAN; BORNIA, 2014).

Tabela 1: Custos da produção de 1t de óleo neutralizado por região produtora

	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Nordeste	Norte
1t de soja (compra)	R\$ 559,93	R\$ 522,01	R\$ 456,95	R\$ 744,17	R\$ 490,50
1t de óleo de soja neutralizado	R\$ 886,34	R\$ 830,45	R\$ 734,58	R\$ 1.157,84	R\$ 784,01

Fonte: Adaptado de Vivian e Bornia (2014).

No entanto, o uso de óleos vegetais como combustível, ou mesmo reutilizados como no caso de óleo de fritura, ainda não são regularizados no Brasil, ou seja, não há uma legislação direcionada para a sua utilização do óleo vegetal como combustível automotivo. Países como os Estados Unidos, Alemanha e Inglaterra, não só permitem a comercialização de óleos vegetais como combustíveis, como também comercializam uma série de acessórios e oferecem inúmeras facilidades, incentivando o consumidor a adaptar o seu veículo para rodar com o uso de óleo vegetal bruto, produzido pelo próprio produtor rural, ou ainda a partir da reciclagem de óleo utilizados no segmento alimentício (MOREIRA, 2016).

2.2 Obtenção e Processamento dos Óleos Vegetais

O processamento de obtenção dos óleos vegetais passa por um dos três métodos básicos de extração de óleo vegetais, os quais podem sofrer algumas modificações ou trabalharem combinados entre si. Comercialmente temos: prensagem hidráulica, prensagem mecânica contínua (expeller) e extração por solventes. As prensas hidráulicas, pioneiras no processo de extração dos óleos vegetais, estão sendo substituídas pelas prensas mecânicas, que são mais eficientes na extração do óleo, mais simples de serem operadas e com menor preço de comercialização (PIGHINELLI, 2010).

A prensagem mecânica contínua consiste na remoção parcial do óleo e seguida pela extração com solvente orgânico, configurando o chamado “processo misto”. Os grãos entram na prensa (Figura 1) por meio de um eixo alimentador, movimentado os grãos para frente e comprimindo-o em centenas de atmosfera por cm². Durante o processo de prensagem o óleo é removido na parte inferior da prensa e na extremidade do eixo alimentador é retirado o resíduo da prensagem, denominado torta ou farelo (BRASIL, 2015).

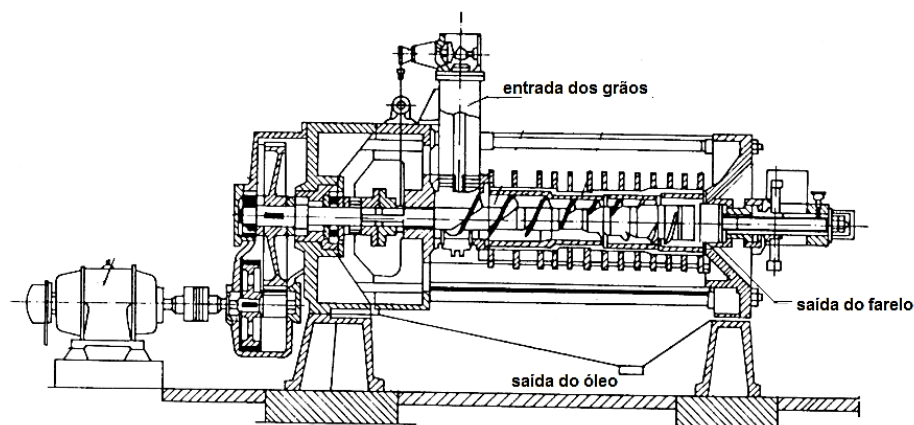


Figura 1: Prensagem mecânica contínua
Fonte: Adaptado de Brasil (2015).

O óleo residual da torta (farelo) é removido através da ação de um solvente orgânico que dissolve o óleo presente na torta deixando-o praticamente sem óleo. Posteriormente, o solvente é recuperado e o óleo separado para misturar-se ao óleo bruto resultante do processo de prensagem. A mistura dos dois óleos é submetida a um processo simples de filtragem para eliminação mecânica das partículas sólidas dos grãos arrastadas no processo de prensagem (BRASIL, 2015).

O aquecimento é muitas vezes utilizado no processo de preparo das oleaginosas para a prensagem mecânica contínua em decorrência do seu benefício. Com o aquecimento ocorre um aumento na capacidade de extração e no rendimento do óleo, além de eliminar a toxicidade ou elementos não desejados do óleo ou da torta (PIGHINELLI, 2010).

A extração com solventes é um dos processos mais utilizados na extração dos óleos vegetais. O solvente, conhecido como hexano, é uma mistura de frações parafínicas derivadas do refino do petróleo que remove o óleo que está contido dentro dos corpos lipídicos (esferossomos) espalhados pelo endosperma. A otimização do processo de extração com solvente ocorre pela redução do tamanho e espessura do grão, através da quebra e laminação respectivamente. Ainda, realiza-se um aquecimento nos grãos para aumentar a fluidez do óleo contido nos esferossomos, facilitando a dissolução do solvente (D'ARCE, 2006).

Posteriormente a extração, os óleos podem ser submetidos a vários processos de purificação, além da filtragem, para garantir a sua aceitação comercial atingindo padrões de qualidade e classificação. Este processo de purificação dos óleos é denominado refino e compreende três etapas básicas: neutralização,

clarificação e desodorização. Quando se trata do óleo de soja, uma etapa inicial deve ser adicionada, a degomagem, que consiste na retirada dos fosfolipídeos (gomas solúveis). Sem o processo de degomagem esta goma, presentes em teores de 2 a 3%, decanta no fundo dos tanques retendo parte do óleo extraído (D'ARCE, 2006; DELALIBERA, 2014).

2.3 O Uso do Óleo Vegetal na Geração de Energia Elétrica

Além do uso rotineiro para o transporte público, máquinas agrícolas e movimentação de carga, há uma finalidade ainda mais nobre para a utilização do óleo vegetal em substituição ao óleo diesel. Trata-se do uso do óleo vegetal como combustível em motor geradores para produção de energia elétrica em comunidades distantes dos grandes centros, desprovidas de sistemas de transmissão de energia elétrica, onde o preço do óleo diesel encarece devido ao custo de transporte para fornecimento do combustível (FARIA et al., 2010).

Experiências com o uso de óleo vegetal puro em motores estacionários tem se mostrado extremamente viável, de maneira econômica e técnica, em áreas rurais e comunidades isoladas sem acesso as redes de distribuição das grandes companhias elétricas, como em regiões do norte do Brasil. Projetos de geração de energia elétrica implantados nestas comunidades tem como destaque o fato da própria matéria prima, utilizada como combustível para os motor geradores, ser um produto local, acessível e de baixo custo, facilitando geração de energia elétrica em locais onde o diesel convencional é de difícil acesso (MOREIRA, 2016).

Considerando-se os aspectos técnicos dos motores estacionários, como nos grupos geradores, o uso dos óleos vegetais é menos problemática do que em motores automotivos, por operarem com uma menor rotação e de modo constante, e por serem menos expostos as variações de cargas ao longo do período de operação. Além disto, nos motores estacionários pode-se trabalhar mais facilmente com dois combustíveis independentes, óleo vegetal e diesel convencional, impedindo o que resíduos de óleo vegetal se depositem no bico injetor e na bomba injetora com a circulação como limpeza do diesel convencional (SOARES et al, 2003).

Segundo Moret e Guerra (2012) o uso de óleo vegetal, um subproduto da biomassa produzida por pequenos produtores, é uma importante fonte energética. A sua utilização introduz desenvolvimento local e sustentável, gera energia e

proporciona renda, seja pela redução do consumo de diesel ou pela comercialização do óleo vegetal como combustível. Quanto ao aspecto técnico, Moret e Guerra (2012) defendem que a única diferença entre a utilização do motor gerador com diesel e utilização do equipamento com óleo vegetal é a necessidade da manutenção do sistema de injeção, com a limpeza do bico de injeção de combustível a cada 200h de uso.

No entanto, ensaios de curta e longa duração em motor ciclo diesel operando com óleo de girassol apontam desempenho inferior em relação ao diesel convencional, sendo observadas alterações na temperatura do lubrificante, ruídos anormais de operação e perda continuada de potência (MARTINI; DELALIBERA; WEIRICH NETO, 2012).

2.4 Níveis de Emissões do Uso do Óleo Vegetal como Combustível

Quando uma reação química ocorre, as ligações no interior das moléculas são quebradas, e os átomos e os elétrons são reorganizados para assumir uma nova forma. Na combustão, ocorre uma rápida reação de oxidação dos elementos do combustível que resulta em liberação de energia à medida que os produtos da combustão são formados, os gases de combustão. Trata-se de uma combustão completa quando todos os elementos presentes nos combustíveis são oxidados completamente, do contrário, trata-se de uma combustão incompleta (MORAN et al., 2014).

Os motores a combustão que operam com combustíveis derivados do petróleo, como os motores ciclo diesel, são responsáveis pela emissão de materiais particulados, gás carbônico (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de Carbono (CO) e hidrocarbonetos aromáticos. Ainda, a combustão do diesel libera material particulado (MP) na forma de aerossol que contribui diretamente na formação do efeito estufa. (GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011).

A exposição a estes agentes poluidores traz uma série de complicações a saúde humana. A emissão de monóxido de carbono (CO) em quantidades elevadas é fatal para o homem; O óxido nítrico (NO_x) é um agente carcinogênico e está associado a enfermidades respiratórias; O material particulado (MP) está relacionado aos quadros de irritação nos olhos e tosse (ESTRADA et al., 2016).

Outro fator propulsor para a pesquisa da utilização de biocombustíveis em motores de combustão são as legislações estaduais, nacionais e internacionais que definem os limites máximos das fontes geradoras. A resolução nº16/2014 da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) do estado do Paraná estabelece os limites máximos de emissões de monóxido de carbono (CO), óxido nítrico (NO_x) para os motores estacionários que operam com o diesel.

As emissões de poluentes tornam-se menores quanto maior a concentração de biocombustíveis numa mistura com combustível convencional. A combustão de um diesel com 20% de biodiesel irá gerar 15,7% menos CO₂ do que a queima de óleo diesel convencional, para um combustível composto de 100% de biodiesel a redução é ainda maior, apresentando a redução de 78,5% nas emissões de CO₂ (SILVA; FREITAS, 2008).

Ao contrário dos combustíveis derivados do petróleo como a gasolina e o diesel, o óleo vegetal in natura é combustível regenerativo, neutro quanto à emissão de CO₂ e livre de enxofre, metais pesados e radioatividade. A Figura 2 apresenta a recirculação de dióxido de carbono (CO₂), denominado ciclo de carbono, o qual atribui a neutralidade nas emissões de CO₂ ao óleo vegetal como combustível. O CO₂ é absorvido pela planta pelo mecanismo de fotossíntese produzindo grãos, o óleo é extraído dos grãos e utilizado para preparação de biocombustíveis. Com a combustão do biocombustível o CO₂ retorna a atmosfera finalizando o ciclo (MACHADO, 2003).

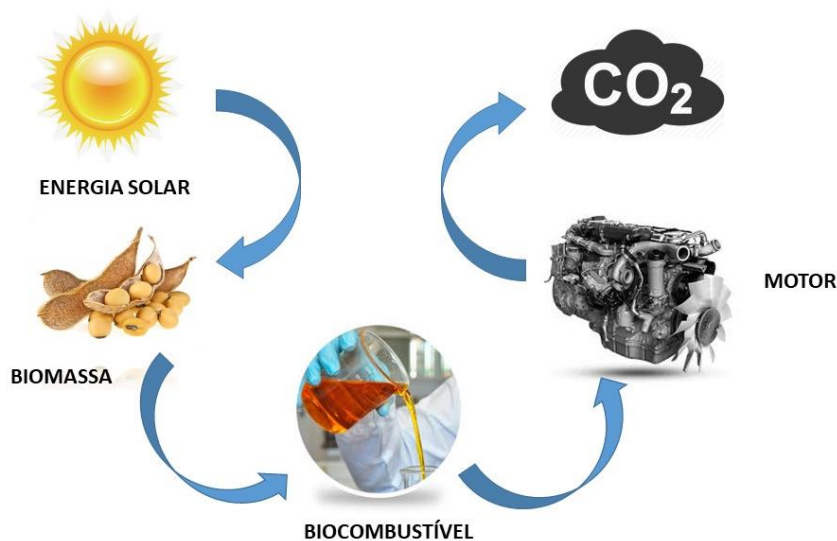


Figura 2: Representação do ciclo de carbono.
Fonte: do autor.

Ausente de metais em sua composição o óleo vegetal como combustível apresentará também uma redução dos hidrocarbonetos totais nos gases provenientes da sua combustão (GUERRA; FUCHS, 2010). Estudos mostram que a utilização dos óleos vegetais como combustíveis pode ser uma opção segura para a redução de emissões de material particulado e de gases gerados na queima do petrodiesel. Avaliações feitas em um motor de combustão direta, alimentado com misturas de óleo de algodão com querosene, apresentam redução de hidrocarbonetos entre 15 a 70%, de acordo com o incremento gradativo do óleo de algodão na proporção com o diesel convencional (DELALIBERA, 2014).

2.5 Caracterização dos Combustíveis

Um combustível é uma substância capaz de se inflamar. Os combustíveis mais comuns são aos combustíveis hidrocarbonetos alifáticos saturados, que possuem basicamente hidrogênio e carbono em sua cadeia ramificada. Além do hidrogênio e o carbono, outros elementos químicos podem estar presente em sua composição, como o nocivo enxofre. A gasolina, o óleo diesel e o querosene são exemplos de combustíveis hidrocarbonados líquidos, obtidos através do processo de destilação e de craqueamento do petróleo (MORAN et al., 2014).

Os motores de ignição por compressão ciclo diesel operam com óleo diesel convertendo sua energia química em trabalho através da sua combustão do petrodiesel. Atualmente no Brasil a frota de veículos diesel já contribui para mitigar a emissão de gases causadores do efeito estufa com o uso do biodiesel. O biodiesel é um combustível com características semelhantes ao diesel convencional, produzido a partir de óleos vegetais ou de gordura animal e misturado ao diesel convencional (VOLPATO et al., 2009).

O processo mais utilizado na produção do biodiesel é o da transesterificação, que transforma o óleo vegetal no biodiesel. No entanto a produção do biodiesel tem um grande inconveniente, o seu elevado custo de produção, o que poderá que poderá dificultar a sua comercialização futura se novas tecnologias não forem desenvolvidas para a obtenção do biocombustível. Caso fosse vendido puro, o seu valor seria 15% mais caro que o diesel convencional (FARIA et al., 2010).

A característica determinante na qualidade de um combustível destinado a motores ciclo diesel é a composição molecular. Em relação à composição química os

óleos vegetais são muitos semelhantes ao óleo diesel, onde basicamente são compostos por hidrocarbonetos alifáticos saturados e insaturados ligados a ácidos graxos. Quanto o assunto são as propriedades físico-químicas, muitas delas são utilizadas como indicadores de qualidade do combustível e seus valores são relacionados as propriedades do petrodiesel, utilizado como padrão (DELALIBERA, 2014). A Tabela 2 apresentam valores comparativos das principais propriedades físico-químicas do óleo de soja, óleo de linhaça, óleo de crambe e biodiesel, tendo como referência o diesel convencional.

Tabela 2: Propriedades físico-químicas de óleos vegetais combustíveis, biodiesel e diesel.

	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	Óleo de Crambe	Biodiesel	Diesel
Viscosidade a 40°C (cSt)	36,8	22,2 - 27	53,0	3,5-5,0	2-4,5
Densidade (g/cm³)	0,920	0,920	0,900	0,860 -0,900	0,820-0,850
Ponto de fulgor (°C)	200	241	274	120-135	38-60
Poder Calorífico (kJ/kg)	39.950	39.307	40.482	36.200	41.400-43.500
Número de Cetanos	36-39	34,6	44,6	50	51-56

Fonte: Adaptado de Guerra e Fuchs (2010); Delalibera (2014)

A viscosidade é propriedade físico-química mais importante a ser levado em consideração na utilização de óleos vegetais como combustível. Combustíveis com alta viscosidade possuem dificuldade de atomização na câmara de combustão, e conseqüentemente, de se misturar ao comburente (ar) para entrar em ignição a mesma temperatura. Um dos métodos utilizados para a correção da viscosidade dos óleos vegetais é o pré-aquecimento deste combustível, facilitando o escoamento do combustível dentro do sistema de injeção e melhorando as condições de atomização (KNOTHE et al., 2006). O pré-aquecimento do óleo vegetal para utilização em um motor estacionário ciclo diesel foi estudo por Reis et al. (2015), onde constatou que o aquecimento diminui consideravelmente a viscosidade do óleo favorecendo a combustão e ainda reduzindo a emissão de poluentes em temperaturas próximas a 90°C.

Os tipos de estrutura molecular dos combustíveis tem relação direta com o seu conteúdo energético, desta forma, a densidade é um importante parâmetro avaliado nos combustíveis. O óleo diesel convencional possui altas porcentagens de aromáticos, mesmo os aromáticos tendo baixo conteúdo energético, a alta densidade do combustível compensa o déficit energético existente. Os óleos vegetais possuem

densidades muitas vezes maiores que o óleo diesel, e com propriedades químicas semelhantes possuem maior conteúdo energético, de modo que o uso destes em motores ciclo diesel aumentará a potência desenvolvida pelo motor. A densidade é outra propriedade físico-química que se altera mediante variações de temperatura, assim como a viscosidade. Manobras de pré-aquecimento de óleos vegetais para redução da viscosidade reduzem paralelamente a densidade destes combustíveis o que pode refletir em perdas de potência no motor (ESTEBAN et al., 2012; KNOTHE et al., 2006).

O ponto de fulgor define a menor temperatura em que o vapor de um líquido volátil se inflama quando colocado em contato com uma chama. Esta propriedade esta relacionada à segurança no transporte e armazenamento de combustíveis, sendo crucial a definição de seu limite para os combustíveis utilizados na aviação (SALDANA et al., 2011).

De acordo com as Resoluções ANP nº 45/2014, e nº 69/2014, o ponto de fulgor mínimo do biodiesel deve ser 100°C e do óleo diesel fornecidos nas bombas de 38°C (ANP, 2014). Os óleos vegetais apresentam vantagem quanto ao ponto de fulgor em relação aos combustíveis convencionais, não são voláteis e apresentam ponto de fulgor em torno de 220°C, de modo que não é inflamável e nem explosivo podendo ser armazenado por longos períodos (GUERRA; FUCHS, 2010; DELALIBERA, 2014).

O poder calorífico, ou calor de combustão, é o conteúdo de energia dado por unidade de massa, kJ.kg^{-1} de um determinado composto. Para os combustíveis de forma em geral, o poder calorífico é relacionado aos conteúdos de carbono e hidrogênio que estão contidos nas moléculas por unidade de massa da mesma. O óleo diesel possui altas porcentagens de hidrocarbonetos alifáticos saturados, onde estão presente o carbono e hidrogênio, atribuindo alto poder calorífico ao combustível (MORAN et al., 2014; KNOTHE et al., 2006). Os combustíveis a base de óleo vegetal possuem menor poder calorífico quando comparados ao diesel convencional, porém a sua alta densidade compensa a menor quantidade de energia por unidade de massa (DELALIBERA, 2014).

O Número de Cetano (NC) é um importante parâmetro para determinar a qualidade do diesel e é proporcional ao tempo entre a injeção do combustível e sua ignição dentro da câmara de combustão. O NC é um número admissional e a partir dele podemos classificar os combustíveis quanto às características de ignição. Quanto maior o NC menor o tempo de ignição e vice-versa. Combustíveis com baixo valor de

NC terão retardo na ignição e, conseqüentemente, maior será a quantidade de combustível que permanecerá na câmara sem queimar no tempo correto. O número de cetano apropriado para os combustíveis utilizado em motores ciclo diesel, em geral, situa-se na faixa de 40 a 60 (FARIA et al., 2010; ŞENSÖZ; KAYNAR, 2006).

2.6 Grupo Motor Gerador

O Grupo Motor Gerador (GMG), ou conjunto motor gerador, é um equipamento provido de motores de combustão interna (Diesel, Gasolina ou Gás) de reconhecida performance, acoplado a um gerador de energia elétrica de moderna tecnologia. A função principal de um GMG é a conversão da energia mecânica em energia elétrica, com voltagem estável. A energia elétrica produzida pelo GMG é monitorada por instrumentos de medições de grandeza elétricas e controlada por diversas proteções, tais como fusíveis, disjuntores, contadores, chaves e o quadro de comando (GALDINO, 2011).

Os motores de geradores, na sua maioria ciclo diesel, tem o mesmo princípio de funcionamento de um motor de um automóvel e operam queimando combustível. Este motor acoplado a um gerador (alternador) converte energia mecânica em elétrica. A transformação de energia no gerador fundamenta-se no princípio físico de Faraday, o da indução magnética (GALDINO, 2011; PEREIRA, 2006).

O motor ciclo diesel é máquina térmica alternativa, de combustão interna, destinada a suprir energia mecânica ou força motriz de acionamento. O Motor ciclo diesel aspira ar, comprime no interior do cilindro e recebe o combustível sob pressão superior em que o ar se encontra. Com o contato do combustível com ar aquecido pela elevada pressão ocorre a autoignição do combustível. Todo o processo de combustão é definido em quatro tempos distintos, onde o motor precisa realizar duas rotações completas para completar um ciclo de trabalho (Figura 3). No *primeiro tempo*, dá-se a admissão do ar; no *segundo tempo*, dá-se a compressão do ar com o movimento ascendente do pistão e um pouco antes do pistão completar o curso ocorre a injeção do combustível e a autoignição; no *terceiro tempo*, temos a expansão dos gases e transferência energia ao pistão; no *quarto tempo*, o pistão em movimento ascendente empurra os gases de escape para a atmosfera, completando o ciclo (PEREIRA, 2006).

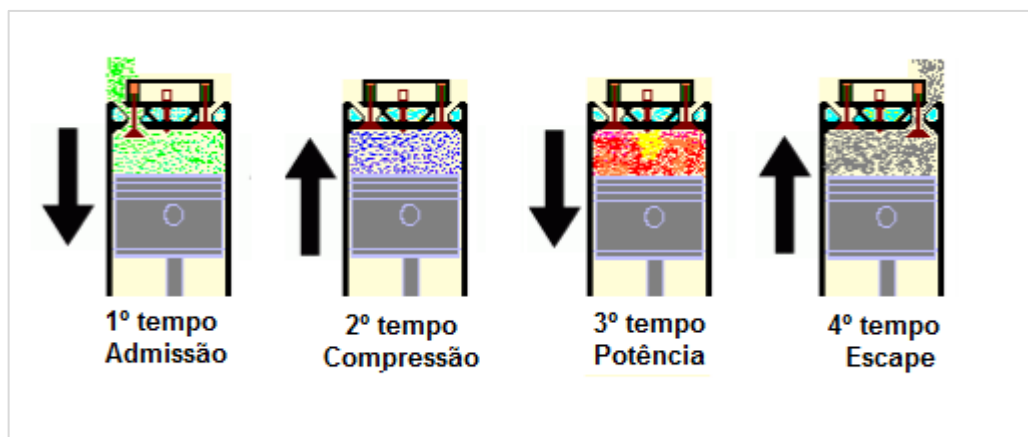


Figura 3: Estágios do motor ciclo diesel.
Fonte: Adaptado de Pereira (2006).

No Grupo Motor Gerador (GMG) acoplado ao motor de combustão interna esta o alternador, utilizado para converter potência mecânica em potência elétrica. Alternadores ou geradores são máquinas síncronas, isto é, máquinas cuja rotação está diretamente relacionada ao número de polos magnéticos e a frequência da força eletromotriz. Não há diferenças construtivas significativas entre um alternador e um motor síncrono, podendo um ser substituído pelo outro sem prejuízo de desempenho (CHAPMAN, 2013; PEREIRA, 2006).

O projeto mecânico do alternador envolve duas partes principais: uma fixa, denominada estator, e outra móvel, denominada rotor. O estator é parte integrante da carcaça do alternador onde se encontram os pés de fixação. E o rotor é o elemento girante localizado no interior do equipamento (PEREIRA, 2006).

Nos geradores síncronos (Figura 4), um campo magnético é produzido no rotor através de um ímã permanente ou de um eletroímã pela aplicação de uma corrente contínua no enrolamento deste rotor. O rotor do gerador é acionado por uma força motriz primária (mecânica) e com o seu movimento de rotação produz um campo magnético girante dentro da máquina. Este campo magnético girante induz um conjunto de tensões trifásicas (corrente alternada) nos enrolamentos do estator do gerador (CHAPMAN, 2013).

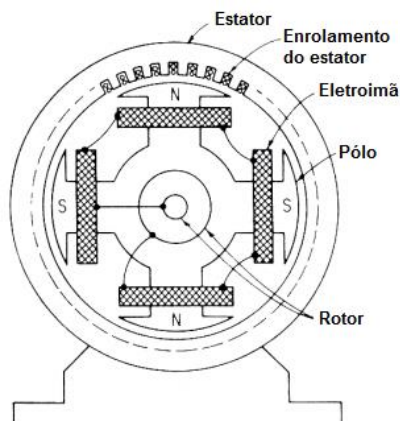


Figura 4: Gerador de quatro pólos magnéticos.
Fonte: Adaptado de Pinheiro (2007).

Para os geradores síncronos a frequência elétrica da corrente produzida está sincronizada ou vinculada à velocidade mecânica de rotação do gerador. A corrente elétrica é gerada em 50 ou 60 Hz, de modo que o gerador deve girar com uma velocidade fixa dependente do número de pólos da máquina (CHAPMAN, 2013).

2.7 Comportamento Termomecânico em Conjunto Motor Gerador

Na operação de motores de combustão interna e geradores podem ocorrer falhas termomecânicas, inoportunas, com interrupções no sistema de distribuição de energia com grandes perdas para o fornecimento elétrico local. A avaliação criteriosa das condições de operação desses equipamentos favorece a um aumento significativo da sua confiabilidade, em termos de manutenção. Para detectar e diagnosticar defeitos precoces em conjunto motor gerador são desenvolvidos equipamentos para captação de sinais elétricos obtidos externamente ao conjunto motor gerador, de modo a propor ações corretivas ao sistema (CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2014).

Os motor geradores, cada vez mais utilizados no processo produtivo desde a crise energética de 2000-2001, são equipamentos nos quais os diagnóstico efetivo do defeito e a assertividade na causa raiz são parâmetros para determinar a confiabilidade do equipamento (GARCIA, 2005).

Segundas informações debatidas no congresso brasileiro de planejamento energético (2014), o levantamento de dados relacionado ao desempenho mecânico, com análise de vibrações e ruído, além do desempenho térmico, com a avaliação de

temperatura favorece o planejamento energético do sistema definindo o melhor momento de intervenção da manutenção, evitando as quebras intempestivas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local do Experimento

O presente estudo foi conduzido no laboratório da Metalmecânica do SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, localizado no município de Cascavel/PR.

3.2 Descrição Geral do Experimento

O presente trabalho avaliou os parâmetros de desempenho operacional de um conjunto motor gerador de potência nominal de 5000W, utilizando-se biocombustíveis a base de óleo de Soja, Linhaça e Crambe. Os óleos vegetais foram misturados em diferentes proporções com o óleo diesel convencional (B8), o mesmo produto comercializado em postos de combustíveis, e postos a prova no conjunto motor gerador sob diferentes cargas resistivas, quantificando-se a potência ativa (trabalho útil) fornecida ao sistema a partir da combustão dos biocombustíveis.










Os ensaios ocorreram sob um delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro demandas de cargas elétricas resistivas (750, 1500, 2250, 3000W) e treze concentrações de combustíveis distintas. A composição dos combustíveis ensaiados estão apresentados na Tabela 3 e sua representação visual ilustrado na Tabela 4.

Tabela 3: Combustíveis utilizados no experimento

Nome	Composição
S10D90	Mistura de 10% de óleo de soja e 90% de óleo diesel
S30D70	Mistura de 30% de óleo de soja e 70% de óleo diesel
S50D50	Mistura de 50% de óleo de soja e 50% de óleo diesel
S70D30	Mistura de 70% de óleo de soja e 30% de óleo diesel
L10D90	Mistura de 10% de óleo de linhaça e 90% de óleo diesel
L30D70	Mistura de 30% de óleo de linhaça e 70% de óleo diesel
L50D50	Mistura de 50% de óleo de linhaça e 50% de óleo diesel
L70D30	Mistura de 70% de óleo de linhaça e 30% de óleo diesel
C10D90	Mistura de 10% de óleo de crambe e 90% de óleo diesel
C30D70	Mistura de 30% de óleo de crambe e 70% de óleo diesel
C50D50	Mistura de 50% de óleo de crambe e 50% de óleo diesel
C70D30	Mistura de 70% de óleo de crambe e 30% de óleo diesel
100D (<i>testemunha</i>)	100% de óleo diesel

Fonte: do autor.

Tabela 4: Representação visual dos combustíveis ensaiados

COMBUSTÍVEL			
S10D90		L10D90	
S30D70		L30D70	
S50D50		L50D50	
S70D30		L70D30	
DIESEL (TESTEMUNHA)			
			

Fonte: do autor.

O conjunto motor gerador utilizado nos ensaios é da marca Kawashima, modelo DG 6000-S (Figura 5). Possui partida elétrica, refrigerado a ar, monocilíndrico, ciclo diesel. As demais especificações estão detalhadas na Tabela 5. O conjunto motor gerador não sofreu nenhum ajuste mecânico, mantendo-se a originalidade do equipamento nos ensaios realizados.



Figura 5: Conjunto motor gerador utilizado nos ensaios.
Fonte: do autor.

Tabela 5: Especificações técnicas conjunto motor gerador Kawashima, mod. DG - 6000S

Gerador	
Tipo	Monofásico, sem escova
Frequência	60 Hz
Potência máxima	5000 W
Potência nominal	4600 W
Tensão	127V / 240V
Tensão nominal DC	12V (8,3A)
Motor	
Tipo	Monocilíndrico, horizontal, refrigerado a ar, 4 tempos, diesel
Cilindradas	406 cc
Potência máxima	10 HP @ 3600 rpm
Sistema de Partida	Elétrico
Combustível	Diesel
Capac. do tanque de comb.	16L
Capacidade do cárter	1,65 L
Consumo de combustível	383 g/kwh
Óleo de lubrificação	SAE 15W 40
Nível de ruído [dB(A)@7m]	95 dB (A)
Dimensões	915 x 540 x 740 mm
Peso líquido	165 kg

Fonte: Catálogo Kawashima.

3.2.1 Fabricação e Montagem do Banco de Cargas Resistivas

O conjunto motor gerador pode ser avaliado sob o ponto de vista de desempenho operacional a partir da fabricação e montagem do banco de resistências, que possibilita uma ampla faixa de cargas resistivas, 750W a 4500W (potência máxima) como um sistema de dissipação da energia elétrica (Figura 6).

A estrutura do banco de resistência foi fabricada em tubos perfilados em aço SAE 1020, soldada a partir do processo de soldagem MAG (Metal Active Gas) e pintada para garantir uma maior durabilidade de estrutura mediante o fenômeno natural de oxidação dos metais.

O banco de resistência foi montado com resistências elétricas utilizadas no segmento industrial para a geração de aquecimento controlado, através do uso de ligações elétricas em série e paralelo. As resistências utilizadas no circuito são do tipo tubular aletadas em formato "U", de 1500W, 130Ω (ohms), as quais foram acionadas e controladas por um quadro de comando composto de 4 contadoras NA, responsáveis pela inserção da lógica inerente ao circuito elétrico do banco de resistência. Como elemento de proteção de circuito elétrico foi instalado um disjuntor

de 20A, bifásico, de modo que a corrente máxima do motor gerador de 20A não fosse ultrapassada durante os ensaios.

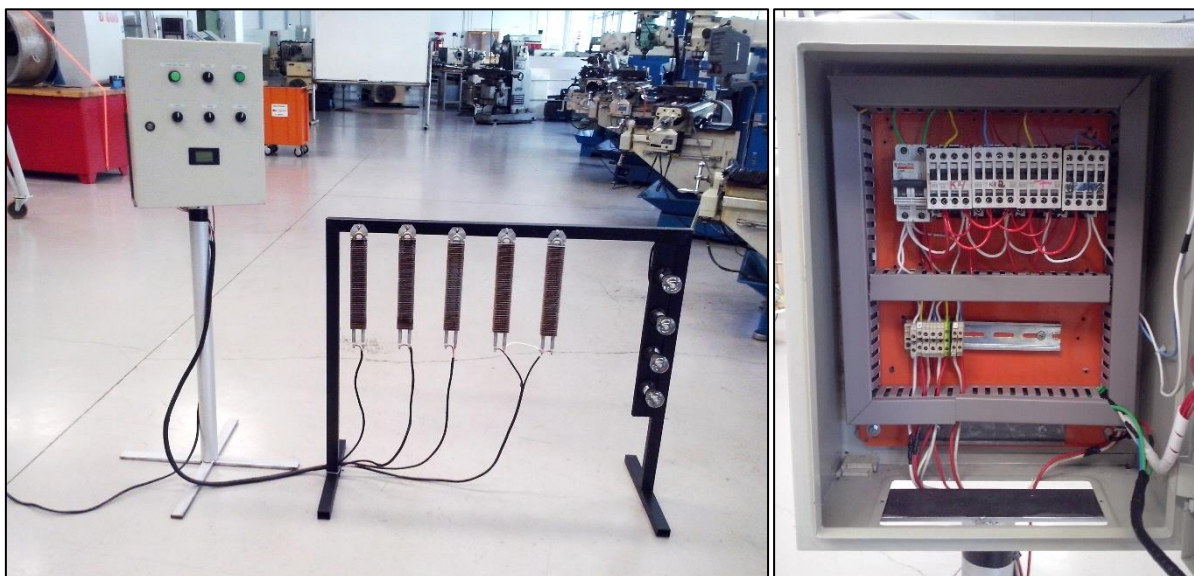


Figura 6: Banco de Resistência.
Fonte: do autor.

3.2.2 Extrusão dos óleos vegetais

O óleo de soja e o óleo de linhaça utilizados nos ensaios de desempenho do conjunto motor gerador foram produzidos através do processo de prensagem mecânica de grãos na Prensa Extrusora, da marca BINDGALVÃO (Figura 7).



Figura 7: Prensa Extrusora Bindgalvão.
Fonte: do autor.

O óleo extraído na prensa é classificado como óleo bruto e possui resíduos sólidos dos grãos da oleaginosa processada. Para fins de utilização dos óleos

vegetais extraído da prensa como biocombustível se faz necessário à decantação do óleo para a remoção das partículas sólidas dos grãos de soja decorrentes do processo de extrusão.

3.2.3 Análise Físico-Química dos Combustíveis

As análises físico-químicas foram realizadas para todos os biocombustíveis a base de óleo de soja, linhaça e crambe, para cada óleo vegetal separadamente e para o diesel convencional, servindo como testemunha para análise técnica comparativa dos demais combustíveis. As análises de densidade e viscosidade foram realizadas a partir da disponibilidade de equipamentos presentes no laboratório de localizado no laboratório de Biocombustíveis da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Cascavel, sendo estas as análises mais realizadas em trabalhos científicos semelhantes a este.

3.2.3.1 Viscosidade Cinemática

A medição da viscosidade cinemática dos combustíveis foi realizada através do viscosímetro capilar Cannon-Fenske. Neste ensaio padronizado o viscosímetro é mantido imerso em água com uma temperatura controlada de 40°C (Figura 8). Com o auxílio de um cronômetro é registrado o tempo de escoamento do combustível dentro do viscosímetro do menisco superior ao menisco inferior. Para cada amostra do biocombustível o ensaio é realizado em triplicata.



Figura 8: Ensaio de viscosidade cinemática.
Fonte: do autor.

A partir do tempo de escoamento do combustível e a constante de calibração do viscosímetro (0,035), a viscosidade cinemática é determinada através da equação (1) apresentada por Tavares (2011). O valor da viscosidade cinemática será expresso em $\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$ ou cSt(centistoke).

$$v = C . t \quad \text{eq. (1)}$$

Onde,

v = viscosidade cinemática em $\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$ ou cSt (centistoke))

$C = 0,035$ - Constante de calibração do viscosímetro ($\text{mm}^2.\text{s}^{-2}$)

t = Tempo de escoamento do combustível (s)

3.2.3.2 Densidade à 20°C

A medição da massa específica das amostras de biocombustíveis a 20°C foi feita da utilizando-se o método do picnômetro, um medidor volumétrico ideal para determinar a densidade de substâncias líquidas. O picnômetro utilizado no ensaio possui uma capacidade volumétrica de 25,0 ml e uma tolerância de $\pm 0,04$ ml a 20°C. Antes do início dos ensaios o picnômetro é pesado para subtrair o valor da sua massa da massa das amostras dos biocombustíveis. Para medição da massa das amostras foi utilizado uma balança de precisão da marca Marte, modelo Ay220, com resolução de 0,0001g (Figura 9):



Figura 9: Ensaio de densidade a 20°C.
Fonte: do autor.

Com as amostras mantidas a uma temperatura de 20°C, imersas em água, as massas das amostras foram determinadas e partir da equação (2), descrita por Grotta(2003), pode-se calcular a densidade a 20°C.

$$D = \frac{m_{\text{liquido}}}{V_{\text{liquido}}} \quad \text{eq. (2)}$$

Onde,

D = densidade específica (g.ml^{-1})

m = massa do líquido (g)

V = volume do líquido (ml)

3.3 Avaliação do Desempenho do Conjunto Motor Gerador

O conjunto motor gerador utilizado nos ensaios dos biocombustíveis não sofreu nenhum ajuste mecânico, preservando a originalidade e o dimensionamento de fábrica do equipamento. Seguindo-se as recomendações técnicas do fabricante, descritas no manual do equipamento, antes do início dos ensaios foi necessário deixar o conjunto motor gerador ligado em funcionamento por cinco minutos, sem carga, para que a temperatura do óleo do carter estabilizasse sem comprometer a eficiência mecânica do equipamento, de modo que, os dados coletados não sofressem influência de uma variável não controlada.

Sabendo-se que em motores ciclo diesel a combustão do óleo diesel ocorre por elevadas pressões na câmara de combustão, iniciou-se os ensaios com combustível 100D (100% óleo diesel), parcela sem tratamento, servindo como comparativo para os demais tratamentos. Os tratamentos utilizados no experimento podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6: Combustíveis com diferentes teores de óleo vegetal

Tratamento	Óleo de Soja (%)	Óleo de Linhaça (%)	Óleo de Crambe (%)	Diesel (%)
S10D90	10	-	-	90
S30D70	30	-	-	70
S50D50	50	-	-	50
S70D30	70	-	-	30
L10D90	-	10	-	90
L30D70	-	30	-	70
L50D50	-	50	-	50
L70D30	-	70	-	30
C10D90	-	-	10	90
C30D70	-	-	30	70
C50D50	-	-	50	50
C70D30	-	-	70	30

Fonte: do autor.

Quando realizado a troca para os outros combustíveis com maiores concentrações de óleo de vegetal, tabela 6, o motor consumiu a nova mistura durante

2 minutos antes do início da coleta de dados das variáveis em análise. Este procedimento serviu para a eliminação completa do combustível anterior no conjunto motor gerador e para análise de dados fidedigna ao combustível utilizado.

Para a avaliação de desempenho do conjunto motor gerador, foram utilizadas as diferentes condições de carga elétricas resistivas de 750W a 3000W. Inicialmente, o conjunto motor gerador foi operado sob condição de carga resistiva de 750W(carga mínima) com incremento de 750W a cada novo ensaio até o valor máximo de 3000W.

Com o conjunto motor gerador em operação foram realizadas leituras de tensão (V), corrente elétrica (A), frequência da corrente elétrica (Hz), potência elétrica (W), consumo mássico (g), ruído do conjunto motor gerador (dB(A)) e realizado a análise dos gases de exaustão.

A aquisição de dados das grandezas elétricas foi realizada por meio de uma placa eletrônica composta de um microcontrolador Atmel, denominado Arduino, modelo MEGA 2560 R3 (Figura 10), com circuitos de entrada e saída para leitura das variáveis por meio de sensores e componentes auxiliares. O registro de dados foi realizado via software livre.

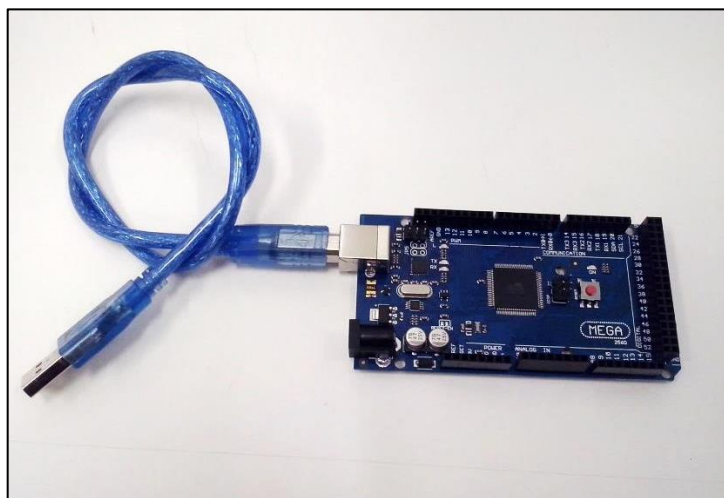


Figura 10: Placa de Aquisição de dados – Arduino.
Fonte: do autor.

A aquisição de dados via arduino das grandezas elétricas do experimento foram monitoradas em tempo real pelo Medidor Digital de Energia Tensão Corrente Potência 4x1, marca Peacefair, modelo PZEM-021 (Figura 11) e pelo alicate amperímetro digital Multímetro Digital modelo ET- 3990, marca Minipa (Figura 12).

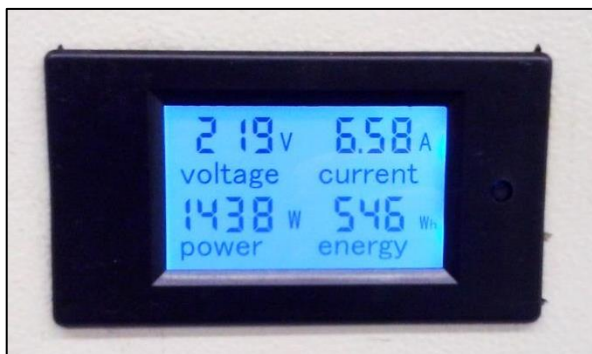


Figura 11: Medidor Digital, PZEM -021.
Fonte: do autor.



Figura 12: Alicata amperímetro ET – 3990.
Fonte: do autor.

As especificações técnicas dos dispositivos eletrônicos utilizados para a medição destas grandezas elétricas estão especificadas nas Tabelas 07 e 08.

Tabela 7: Especificações técnicas Medidor Digital, PZEM -021

Medidor Digital PZEM - 021	
Fabricante	Peacefair
Precisão	$\pm 1\%$
Tensão AC	80 a 260V
Corrente (máx.)	20A
Potência (máx.)	4500W
Frequência	45 a 65Hz

Fonte: Catálogo do fabricante.

Tabela 8: Especificações técnicas Alicate Amperímetro Digital, ET - 3990

Alicate Amperímetro Digital ET - 3990	
Fabricante	Minipa Eletrônica
Precisão	± 1%
Resistência	600Ω
Tensão DC/AC	1000V
Corrente DC/AC	2500A
Temperatura	0° a 50°C

Fonte: Catálogo do fabricante.

3.3.1 Determinação da rotação do conjunto motor gerador

A frequência elétrica de operação do conjunto motor gerador, resultante da corrente elétrica gerada, foi coletada e através dos seus valores foi possível determinar a rotação do motor conforme a carga resistiva aplicada e o combustível utilizado. Para a determinação da rotação instantânea do conjunto motor gerador utilizou-se a equação (3), descrita por Chapman (2013), que relaciona a rotação com a frequência elétrica resultante e o número de polos do motor.

$$f = \frac{n \times P}{120} \quad \text{eq. (3)}$$

Em que,

f = Frequência elétrica, em Hz

n = rotação do motor, em rpm

P = número de polos

3.3.2 Determinação do Consumo específico

Segundo a NBR ISO 3046/1 o consumo específico de combustível é caracterizado pelo consumo por unidade de potência (g.kWh-1).

O consumo específico de cada combustível ensaiado pode ser determinado mediante a determinação previa do consumo mássico(g). Sendo este obtido por meio do uso de célula de carga, um transdutor de força, que registra a variação de massa

de combustível (consumo) sob determinado tempo e as mais variadas condições de operação.

A célula de carga utilizada é da marca Alfa, mod. SV (Figura 13) e opera mecanicamente sob forças de tração, as suas especificações técnicas estão contidas na Tabela 9 conforme catálogo do fabricante. Para a sua utilização no experimento aferiu-se a célula de carga por meio das massas padrões de chumbo de 100,0 e 500,0g

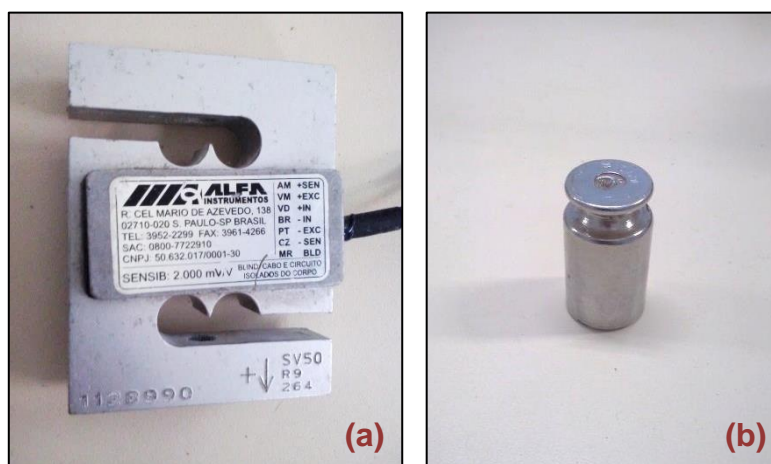


Figura 13: (a) célula de carga; (b) massa padrão.
Fonte: do autor.

Tabela 9: Especificações técnicas Célula de Carga, SV 50

Célula de Carga – SV 50	
Fabricante	Alfa S.A.
Material	Alumínio
Esforços	Tração
Sensibilidade mV/V	2,0000
Temperatura de trabalho	-5° a 60°C
Número de divisões	5.000
Classe de proteção (interferência)	IP67

Fonte: Catálogo do fabricante.

Na célula de carga foi afixada uma bureta graduada (medidor volumétrico), conforme apresentado na Figura 14, na qual comportava o volume do combustível consumido durante os ensaios. A bureta graduada foi interligada a entrada da bomba injetora por meio de uma mangueira de combustível, de modo a manter constante a alimentação de combustível ao sistema de alimentação.



Figura 14: Sistema de alimentação de combustível com célula de carga.
Fonte: do autor.

O consumo mássico, nas distintas condições de carga resistivas, nos fornecem o consumo específico do combustível (C_e) em $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$. A equação (4) adaptada de González; Anaya e Ospina (2011) mostram o consumo específico de cada amostra de combustível durante os ensaios.

$$C_e = \frac{(m_i - m_f)}{P_{elétrica} \cdot t} \quad \text{eq. (4)}$$

Em que,

C_e = consumo específico do combustível, $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$

m_i = massa de combustível no início do ensaio, g

m_f = massa de combustível no término do ensaio, g

$P_{elétrica}$ = potência gerada, kW

t = tempo de consumo (h)

3.3.3 Nível de Ruído

Para a medição da pressão sonora, ruído, foi utilizado o decibímetro EXTECH 407750, marca Flir, calibrado e com certificado de calibração vigente (Figura 15). As especificações do equipamento estão descritas na Tabela 10.



Figura 15: Decibímetro.
Fonte: do autor.

Tabela 10: Especificações técnicas decibímetro

Decibímetro Mod. EXTECH 407750	
Faixa de medição	30dB a 130dB
Frequência	125Hz a 8kHz
Taxa de atualização	2 vezes/segundo
Ponderação em frequência	A e C
Resposta	SLOW (lenta-1s), FAST (rápida-125ms)
Ambiente de Operação	0° a 40°C
Precisão	± 1,5 dB

Fonte: Catálogo do fabricante.

O aparelho foi operado em circuito de compensação “A” e circuito de resposta lenta (SLOW). Foi avaliado o ruído gerado em dB pelo conjunto motor gerador a partir da combustão dos biocombustíveis avaliados. A medição do ruído foi realizada a uma distância de 2m do equipamento em ambiente externo.

3.4 Emissões

A análise dos gases de combustão gerados no ensaio do conjunto motor gerador operando com os combustíveis a base de óleo vegetal ocorreu a partir da utilização do analisador portátil de gases de combustão da marca CHEMIST, modelo 503 (Figura 16). O aparelho possui sensores eletroquímicos capazes de realizar a medição de emissões de oxigênio (O_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), além de realizar a leitura da temperatura dos gases de exaustão. Possui limite de erro de $\pm 5\%$ para a leitura de emissões e $\pm 0,5\%$ para a medição de temperatura.

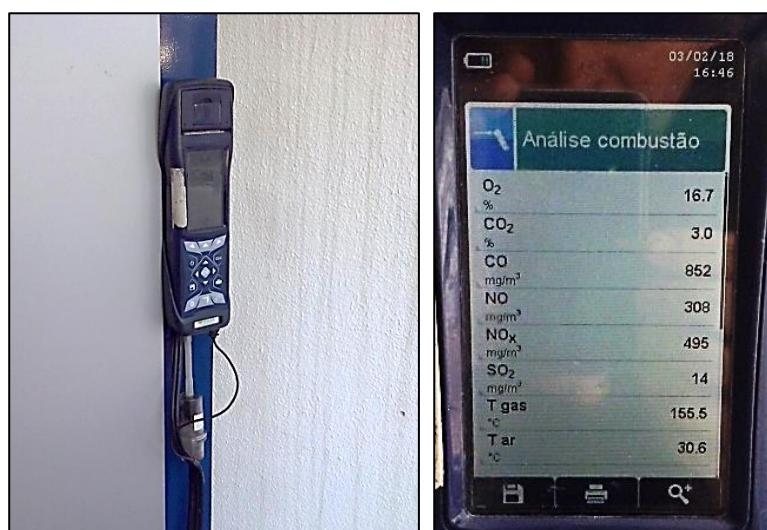


Figura 16: Analisador portátil de gases da combustão.
Fonte: do autor.

Durante os ensaios a sonda de amostragem dos gases de exaustão foi inserida na ponteira do escape do conjunto motor gerador conforme apresentado na Figura 17.



Figura 17: Instalação da sonda de amostragem dos gases.
Fonte: do autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Físico-Química dos Combustíveis

Na discussão de resultados da análise físico-química, serão feitas comparações com os parâmetros característicos da qualidade do combustível e tendo como base científica trabalhos de pesquisa semelhantes a este. Conforme citado por Imtenan et al. (2014) as propriedades físico-química de viscosidade, densidade e são de extrema relevância para o desempenho do motor e a qualidade das emissões.

Os ensaios de densidade e viscosidade foram realizados para todos os combustíveis já apresentados e também para os óleos vegetais de soja, linhaça e crambe, os quais foram denominados respectivamente de S100, L100 e C100.

4.1.1 Viscosidade Cinemática

A viscosidade cinemática é um dos parâmetros exigidos pela ANP para caracterização de um combustível para motores ciclo diesel, seja ele produzido do refino do petróleo ou de fontes renováveis como no caso do biodiesel. A alta viscosidade é capaz de afetar o início da injeção, a pressão de injeção, e a característica de pulverização do combustível na câmara de combustão (GABRIEL et al., 2015; KNOTHE et al., 2006).

A viscosidade encontrada para todos os combustíveis a base de óleo de soja, linhaça e crambe pode ser visualizada na Tabela 11, estando todos os valores expressos em $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ou centistoke (cSt).

Tabela 11: Viscosidade dos Combustíveis (cSt)

Óleo (%)	COMBUSTÍVEL															
	D100	S10D90	S30D70	S50D50	S70D30	S100	L10D90	L30D70	L50D50	L70D30	L100	C10D90	C30D70	C50D50	C70D30	C100
Diesel (D)	100	90	70	50	30	-	90	70	50	30	-	90	70	50	30	-
Soja (S)	-	10	30	50	70	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linhaça (D)	-	-	-	-	-	-	10	30	50	70	100	-	-	-	-	-
Crambe (L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	30	50	70	100
Viscosidade (cSt)	2,2	2,9	4,9	6,8	13,9	22,7	2,8	4,6	6,9	12,4	19,4	2,9	5,1	8,0	15,3	27,4

Os ensaios permitiram observar que a viscosidade dos combustíveis aumentava com o acréscimo de óleo vegetal presente na mistura. Tomando por base o diesel como valor de referência de viscosidade de 2,2 Cst, que está dentro dos limites permissíveis da resolução da ANP nº50/2013, observou-se que os valores de viscosidade aumentavam em mais de 10 vezes quando se tinha um combustível com 100% de óleo vegetal, como no caso do C100, composto por 100% de óleo vegetal de crambe, com valor de viscosidade de 27,4 Cst. Delalibera (2014) apresentou resultados semelhantes para o S100, L100, composto respectivamente por 100% de óleo de soja e 100% de óleo de linhaça.

Conforme pode-se observar a partir da Figura 18 os valores de viscosidade aumentaram gradativamente com o maior percentual de óleo vegetal. De acordo com e SHAHIR et al.(2014) e BARABÁS et al.(2010) a viscosidade tem relação direta com a densidade. Desta forma, quanto maior a quantidade de óleo vegetal na composição da mistura maior será o valor da viscosidade em função da maior densidade dos óleos vegetais em relação ao petrodiesel.

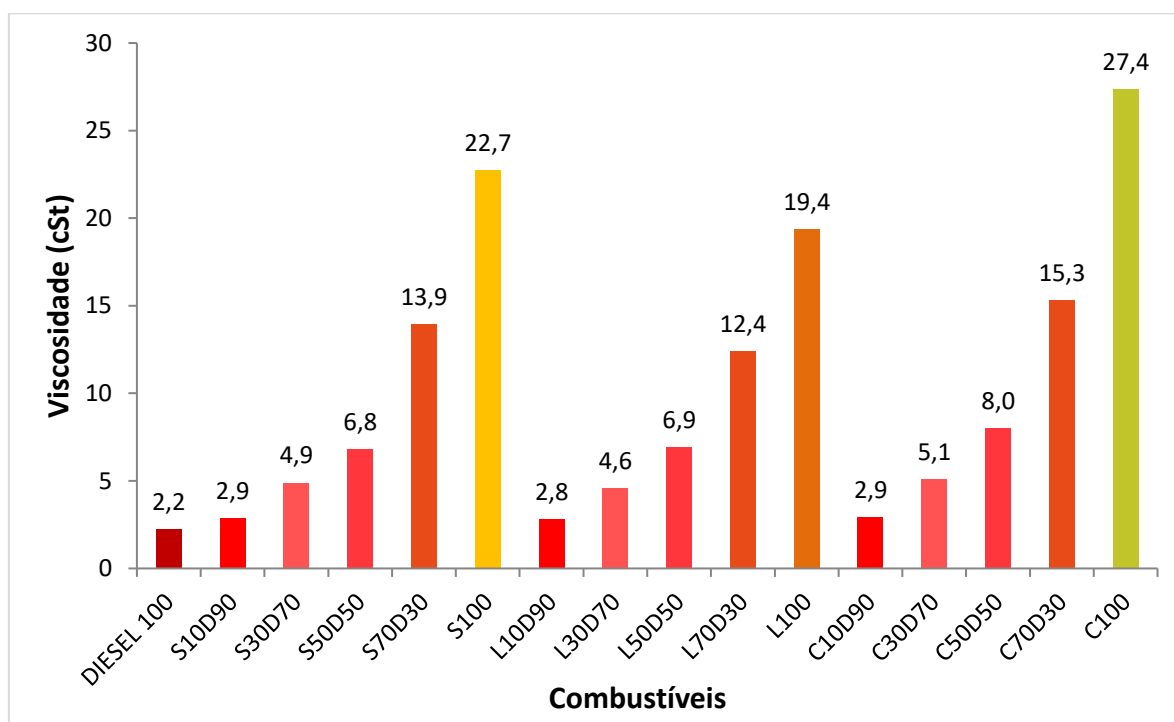


Figura 18: Viscosidade dos combustíveis (cSt).

4.1.2 Densidade

A densidade trata-se de uma propriedade físico-química relevante na caracterização de combustíveis. Ela é potencialmente capaz de alterar a performance do motor, além de outras propriedades como o poder calorífico e o número de cetano (MOFIJUR et al., 2016). Pode-se observar na Tabela 12 e na Figura 19, na forma gráfica, os resultados de todos os combustíveis testados, em g.cm^{-3} . Segundo a resolução de ANP, nº 50/2013, a densidade do diesel convencional situa-se na faixa 0,815 a 0,865 g.cm^{-3} e este valor foi utilizado como parâmetro para comparação aos demais combustíveis. Os combustíveis com até 30% de óleo vegetal de soja, linhaça e crambe denominados respectivamente por S30D70, L30D70 e C30D70 apresentaram valores de densidade dentro da faixa permissível definida pela ANP para o diesel convencional.

Tabela 12: Densidade dos combustíveis (g.cm^{-3})

Óleo (%)	Combustíveis															
	D100	S10D90	S30D70	S50D50	S70D30	S100	L10D90	L30D70	L50D50	L70D30	L100	C10D90	C30D70	C50D50	C70D30	C100
Diesel (D)	100	90	70	50	30	-	90	70	50	30	-	90	70	50	30	-
Soja (S)	-	10	30	50	70	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linhaça (L)	-	-	-	-	-	-	10	30	50	70	100	-	-	-	-	-
Crambe (C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	30	50	70	100
Densidade (g.cm^{-3})	0,8352	0,8414	0,8584	0,8703	0,8981	0,9187	0,8433	0,8612	0,8767	0,9039	0,9224	0,8405	0,8568	0,8716	0,8892	0,9105

Os combustíveis com teores de óleo vegetal com valores iguais ou superiores a 50% apresentaram densidades que variavam de 0,8703 g.cm^{-3} para o S50D50 até o valor de 0,9039 para o caso do L70D30 (Figura 19). Segundo Delalibera (2014) os combustíveis a base de óleo vegetal por possuírem maiores densidade, ou seja, maior densidade energética compensa o menor poder calorífico na comparação direta com os combustíveis derivados do petróleo.

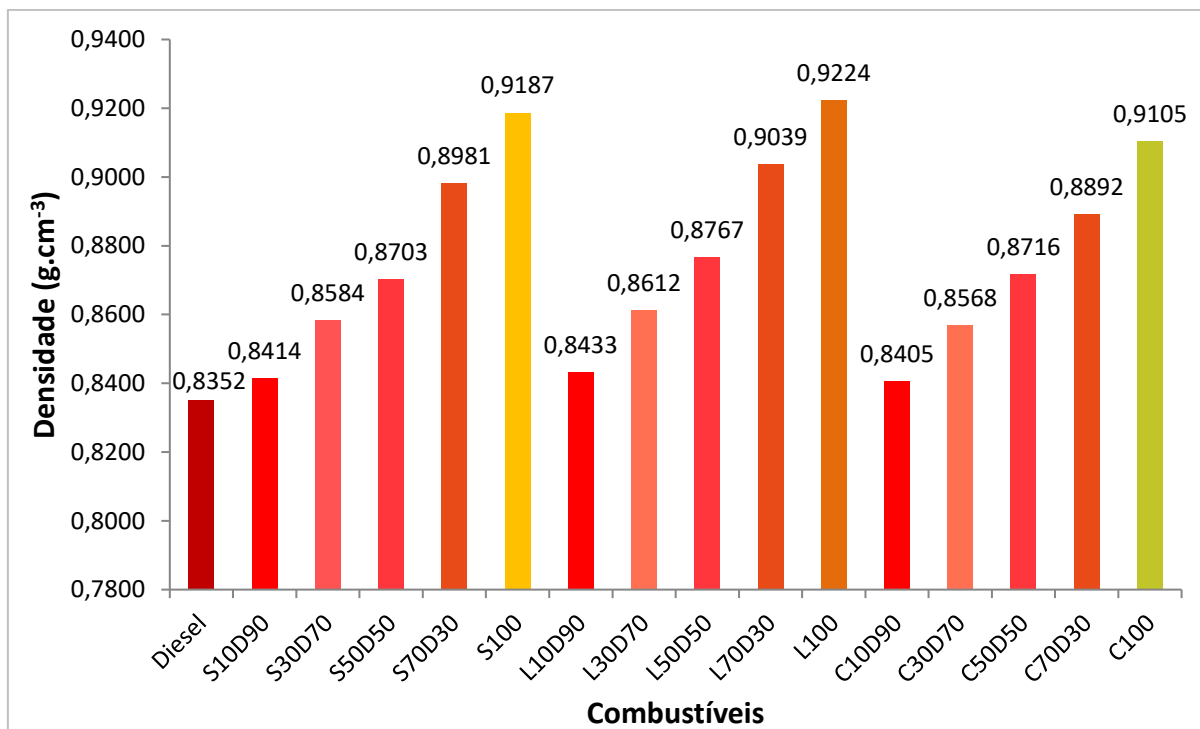


Figura 19: Densidade dos combustíveis (g.cm⁻³).

4.2 Avaliação do Desempenho do Conjunto Motor Gerador

4.2.1 Potência Efetiva

Segundo a NBR ISO 3046/1 a potência efetiva de um motor de combustão interna alternativo é a potência ou a soma das potências desenvolvidas nos eixo motor expressa em quilowatts (KW). A partir das Figuras 20, 21 e 22 é possível observar a potência desenvolvida pelo conjunto motor gerador sob a operação dos diversos combustíveis a base de óleo vegetal em função das cargas nominais resistivas de 750W, 1500W e 3000W. O resultado das potências efetiva apresentam-se numericamente maiores que o valor nominal em virtude de o conjunto motor gerador operar em uma tensão alternada de 240V e o dimensionamento do circuito elétrico resistivo ser realizado para uma tensão elétrica de 220V.

A partir da figura 20 é possível observar o comportamento do conjunto motor gerador a carga resistiva nominal de 750W. De modo geral, a utilização dos biocombustíveis contribui para uma maior potência fornecida por parte do gerador, apesar das diferenças mensuradas serem consideravelmente pequenas. A maior potência efetiva desenvolvida foi a partir do biocombustível C50D50, com um valor de

995,8 kW, frente aos 978,3 kW desenvolvidos para o diesel, uma variação relativa de 2%.

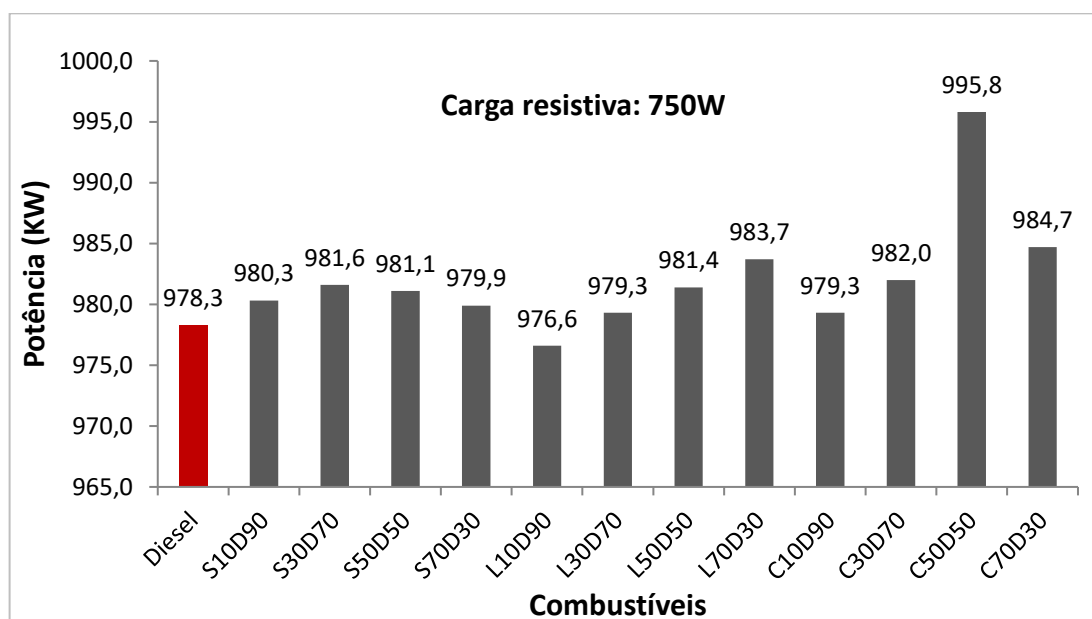


Figura 20: Potência efetiva (kW) para carga resistiva de 750W.

Em carga média, a 1500W (Figura 21), os combustíveis a base de óleo vegetal apresentaram comportamento semelhantes ao encontrado a encontrado a 750W. Pode-se observar pequenos acréscimos da potência desenvolvida a partir da queima dos biocombustíveis, com valores máximos registrados para o combustível L70D30 e C70D30 de 1873,0 kW incremento de 1,5% em relação ao diesel convencional.

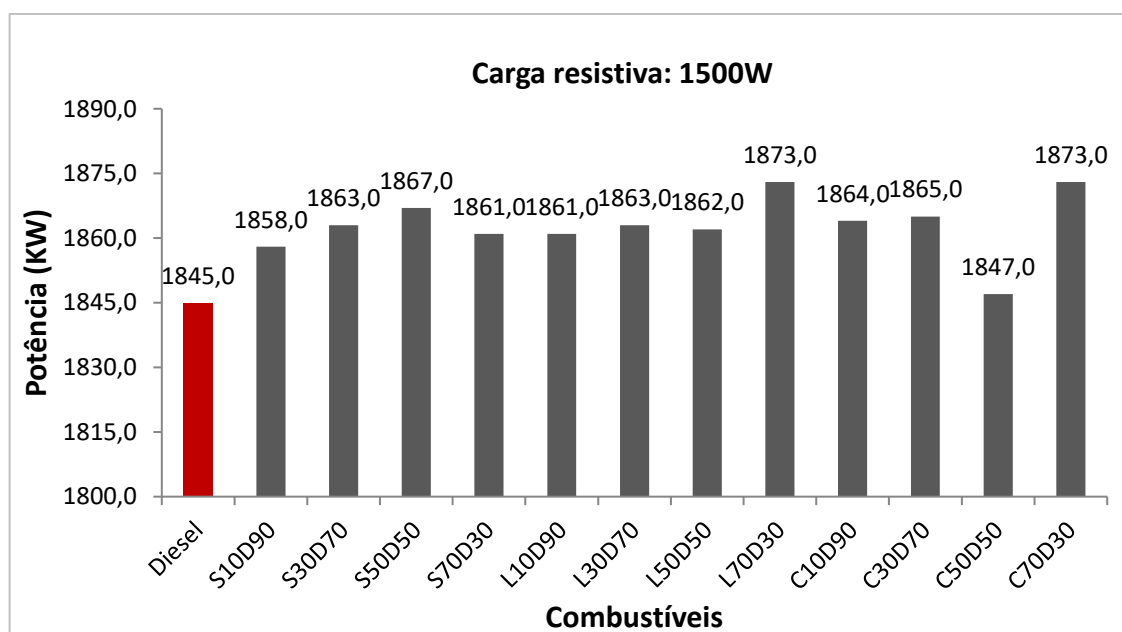


Figura 21: Potência efetiva (kW) para carga resistiva de 1500W.

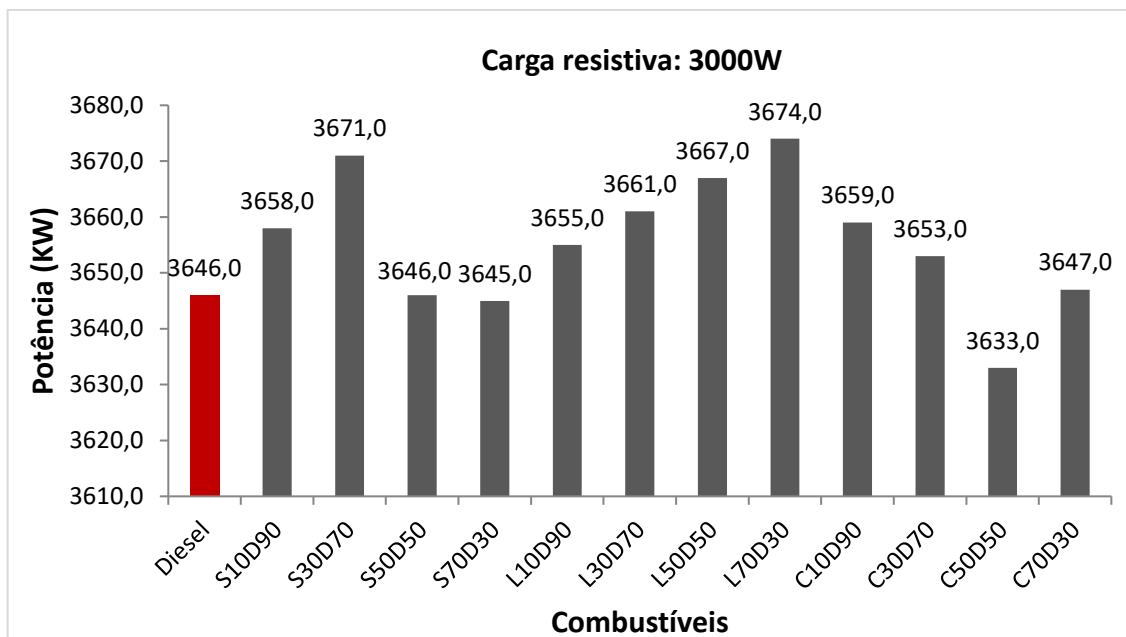


Figura 22: Potência efetiva (kW) para carga resistiva de 3000W.

Na exigência da potência máxima aplicada ao conjunto motor gerador, 3000W, os melhores resultados de desempenho para todas as bases oleaginosas foram observados em teores de até 30% de óleo de soja, linhaça e crambe (Figura 22). Em concentrações maiores para os combustíveis a base de óleo de soja houve a redução da potência com valores similares ao encontrado para o diesel convencional. Para os combustíveis produzidos a parte da linhaça, concentrações acima de 30% do óleo vegetal desta espécie ainda apresentaram pequenos incrementos de potência. Já para o grupo do crambe, houve redução de potência para o combustível com 50% do óleo vegetal de crambe e 50% de diesel, C50D50, em relação ao diesel convencional.

4.2.2 Consumo de combustível

Na Tabela 13 estão expressos os resultados obtidos de consumo específico (CE) e consumo horário (CH) do conjunto motor gerador ciclo diesel operando com os biocombustíveis a base de óleo de soja, linhaça e crambe, como também os valores de referência para o diesel convencional.

Tabela 13: Consumo específico e consumo horário dos combustíveis

Comb.	750W		1500W		2250W		3000W	
	CE (g.kW ⁻¹ .h ⁻¹)	CH (g.h ⁻¹)	CE (g.kW ⁻¹ .h ⁻¹)	CH (g.h ⁻¹)	CE (g.kW ⁻¹ .h ⁻¹)	CH (g.h ⁻¹)	CE (g.kW ⁻¹ .h ⁻¹)	CH (g.h ⁻¹)
Diesel	0,93	924,00	0,55	1077,33	0,45	1314,67	0,33	1288,00
S10D90	0,74	769,71	0,43	844,80	0,28	837,00	0,32	1233,00
S30D70	0,71	738,86	0,43	835,20	0,34	1065,00	0,31	1260,00
S50D50	0,71	720,00	0,43	818,40	0,36	1111,20	0,35	1377,33
S70D30	0,48	474,00	0,46	919,20	0,37	1104,00	0,38	1482,67
L10D90	0,67	666,86	0,37	746,00	0,35	1090,29	0,34	1309,09
L30D70	0,85	840,00	0,41	837,33	0,34	1003,20	0,35	1377,60
L50D50	0,62	622,50	0,41	801,00	0,35	1042,29	0,30	1137,60
L70D30	0,71	722,00	0,47	906,00	0,36	1051,20	0,36	1432,00
C10D90	0,80	826,29	0,35	690,00	0,44	1258,91	0,34	1300,62
C30D70	0,71	694,29	0,35	703,20	0,37	1059,60	0,31	1255,20
C50D50	0,71	699,00	0,45	862,50	0,54	1568,57	0,34	1330,29
C70D30	0,75	756,00	0,55	1051,20	0,39	1200,00	0,40	1552,80

Na Figura 23, são representados os valores consumo horário (g.h⁻¹) para os biocombustíveis ensaiados a partir da carga resistiva solicitada. Em carga baixa, a 750W, os combustíveis a base de óleos vegetais obtiveram valores de consumo horário (CH) menores que o óleo diesel convencional, 924,0 g.h⁻¹, independente do teor de óleo vegetal e sua origem. Observa-se que o menor valor encontrado para esta carga ocorreu com o combustível S70D30, 70% óleo de soja e 30% diesel, com um valor registrado de 474 g.h⁻¹.

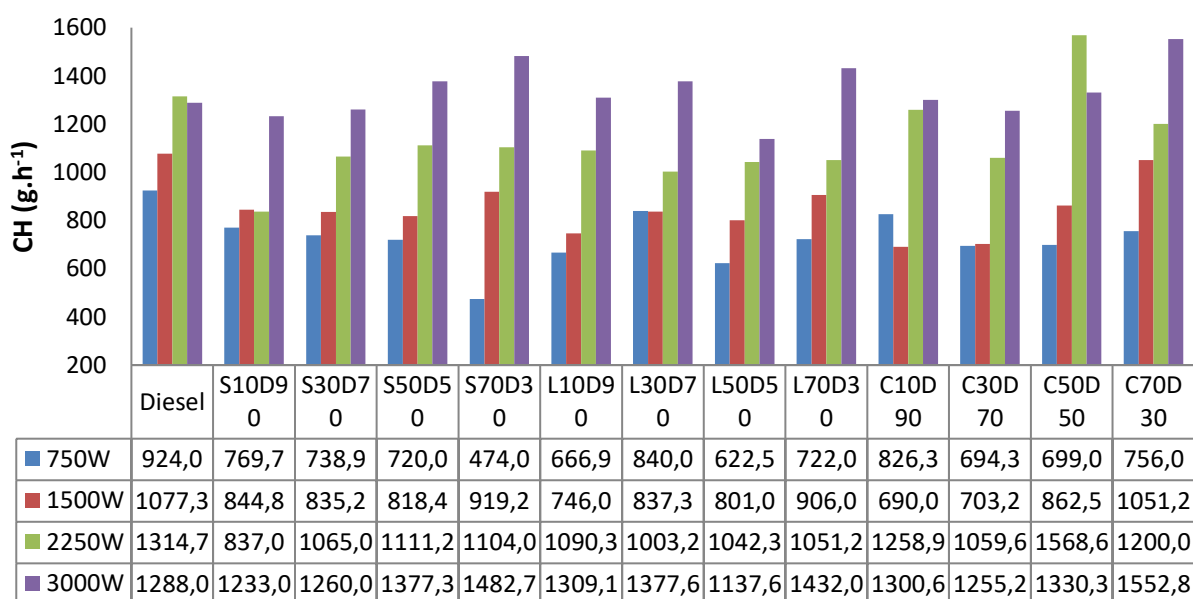


Figura 23: Consumo horário volumétrico por carga resistiva.

Para a carga solicitada de 1500W, todos os combustíveis apresentaram valores de consumo horário abaixo do diesel convencional de 1077,0 g.h⁻¹. O melhor resultado encontrado foi para o combustível C10D90, composto por 10% de óleo de crambe e 90% de diesel, com um valor de 690,0 g.h⁻¹.

Para a carga de 2250W, os combustíveis quase que em toda a sua totalidade apresentaram resultados de consumo horário inferiores ao diesel convencional que para esta carga resistiva apresentou um consumo horário de 1314,0 g.h⁻¹. A exceção para os combustíveis a base de óleo vegetal ocorreu para o combustível C50D50, 50% de óleo de crambe e 50% de óleo diesel, o qual registrou valor de consumo horário de 1568,0 g.h⁻¹.

Em carga máxima, 3000W, os combustíveis S50D50, S70D30, L10D90, L30D70, L70D30, C10D90, C50D50 e C70D70 apresentaram valores de consumo horário maiores que o diesel convencional, comportamento não observado em outras cargas solicitadas.

No gráfico da Figura 24 apresenta-se o consumo específico em g.kW⁻¹.h⁻¹ de cada combustível pelas diversas cargas resistivas aplicadas, mostrando a eficiência do conjunto motor gerador com aquele combustível. A 750W, todos os combustíveis apresentaram menores valores de consumo específico em relação ao diesel, no qual o menor valor registrado de consumo específico foi de 0,48 g.kW⁻¹.h⁻¹ para o combustível S70D30, significativamente menor que o diesel o qual apresentou um valor de 0,93 g.kW⁻¹.h⁻¹.

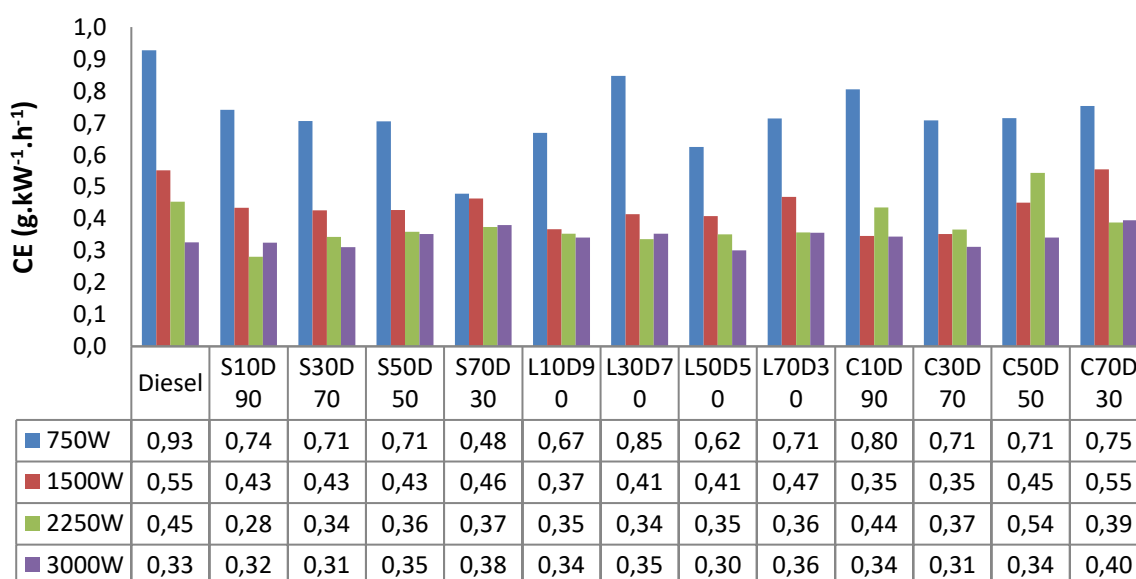


Figura 24: Consumo específico dos combustíveis por carga resistiva.

Em cargas médias de 1500W e 2250W os combustíveis a base de óleo vegetal, em sua maioria, ainda apresentaram maiores eficiência em relação ao petrodiesel. A 1500W somente o combustível C70D30 apresentou consumo específico idêntico ao diesel com $0,55 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$, enquanto que para a carga de 2250W o combustível C50D50 apresentou-se mais ineficiente, com valor de consumo específico registrado de $0,54 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ frente ao óleo diesel com $0,45 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

A 3000W os melhores resultados de eficiência do conjunto motor gerador operando com os combustíveis estudados ocorreu na maior parte dos casos nas misturas combustíveis com baixo e médio teores de óleo vegetal. Para o grupo de combustíveis a base de óleo de soja o combustível S30D70, 30% de óleo de soja e 70% de diesel, apresentou o resultado de $0,31 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$, enquanto que o óleo diesel registrou um valor de $0,33 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$. Para os combustíveis a base de óleo de linhaça, o combustível L50D50 obteve o valor de maior eficiência, $0,30 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$. Para o grupo do óleo de crambe, o combustível C30D70 apresentou o melhor resultado, sendo $0,31 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

Espasandin (2011) estudou a operação de motor gerador ciclo diesel com 50% de óleo diesel e 50% de óleo de colza e encontrou resultados compatíveis com o uso do biocombustível, que apresentou resultado idêntico de eficiência em relação ao diesel convencional e consumo específico minimamente maior.

4.2.3 Nível de ruído

Os valores dos níveis de ruído médio registrados para cada combustível ensaiado estão apresentados na Figura 25. Pode-se observar a partir dos resultados pequenas variações dos níveis ruído gerado do conjunto motor gerador operando com os biocombustíveis em relação à operação com o diesel convencional. Em níveis percentuais, o maior ruído médio gerado com a utilização dos combustíveis foi quando utilizado o combustível composto por 70% de óleo de soja e 30% de óleo diesel, S70D30 que alcançou um valor de ruído de 88,9 dB, apenas 3% maior que o registrado com o diesel convencional.

Os combustíveis que operaram com mistura de óleo de linhaça e crambe obtiveram resultados de nível de ruído próximos do valor de referência, o do diesel,

sendo o menor valor registrado de 85,4 dB para o combustível C70D30.

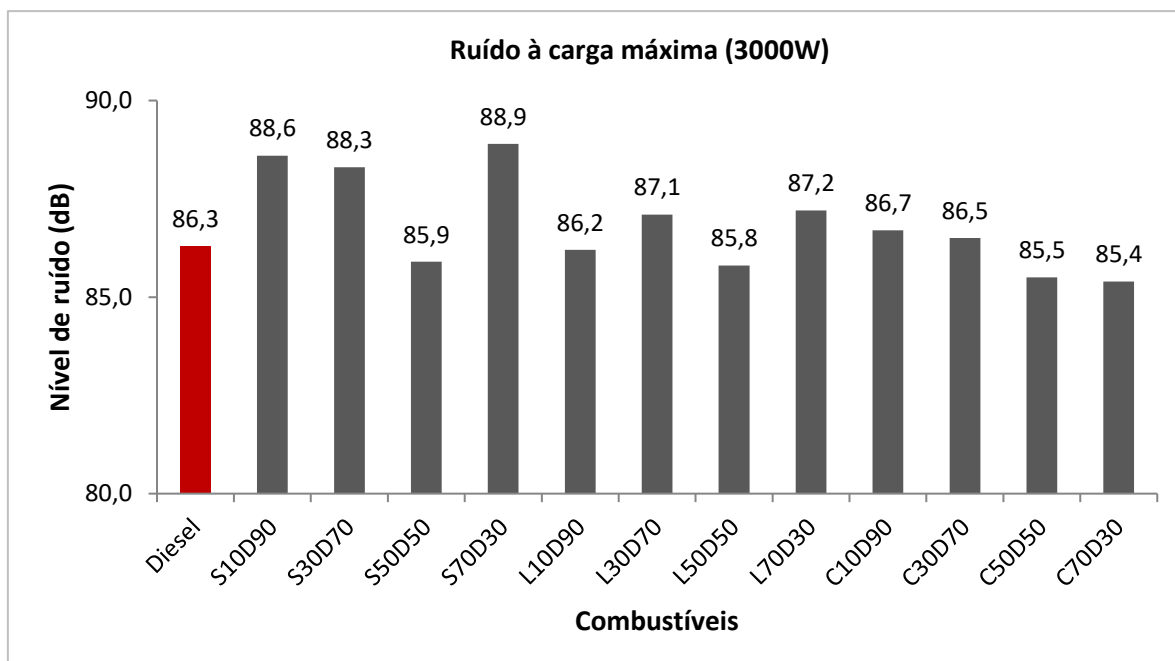


Figura 25: Ruído à carga máxima resistiva (3000W).

Devido a proximidade dos níveis de ruído registrados e com a dificuldade da discussão de resultados com a literatura existente foi aplicado o teste de Tukey, o teste da comparação múltipla, que avaliou a diferença significativa entre os combustíveis ensaiados e o diesel. Os resultados do teste de Tukey estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Teste de Tukey com nível de confiabilidade de 95%

Comparações Múltiplas	
Níveis	P-valor
S10D90 - Diesel	0,000175578
S30D70 - Diesel	0,034546851
S50D50 - Diesel	0,999711779
S70D30 - Diesel	3,19661E-06
L10D90 - Diesel	0,999999999
L30D70 - Diesel	0,683047139
L50D50 - Diesel	0,98061978
L70D30 - Diesel	0,519484901
C10D90 - Diesel	0,997010497
C30D70 - Diesel	0,999997567
C50D50 - Diesel	0,683047139
C70D30 - Diesel	0,519484901

Analisando o p-valor dos combustíveis comparados (níveis), não rejeitamos a hipótese de igualdade entre as médias do ruído gerado para os níveis com p-valor superior a 0,05. Desta forma os combustíveis S50D50, L10D90, L30D70, L50D50, L70D30, C10D90, C30D70, C50D50 e C70D30 apresentam igualdade entre as médias dos níveis, representando estatisticamente a igualdade entre os valores médios de ruído destes combustíveis e o valor encontrado para o diesel.

4.3 Análise das Emissões

A análise de emissões de poluentes depende de vários fatores como a qualidade do combustível, do consumo de combustível e do motor testado. Além do que na mesma condição de carga, mas em diferentes modos de operação o consumo específico varia (COSTA, 2007). Do exposto, pode-se afirmar que a comparação de resultados de emissões de poluentes nas mesmas condições de operação é um processo meticuloso, entretanto, os resultados obtidos serão comparados com resultados fornecidos na literatura de semelhante natureza.

Na Tabela 15 estão expressos os resultados das emissões médias obtidas durante os ensaios com o conjunto motor gerador a partir queima dos combustíveis a base de óleo de soja, linhaça, crambe e diesel convencional.

Tabela 15: Emissões médias e temperaturas

Combust.	Emissão de gases e temperaturas							
	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (mg.m ⁻³)	NO (mg.m ⁻³)	NO _x (mg.m ⁻³)	SO ₂ (mg.m ⁻³)	T gás (°C)	T ar (°C)
Diesel	15,6	3,9	946,5	381,9	608,0	21,3	148,9	31,8
S10D90	17,9	2,1	888,0	147,0	263,7	26,7	132,8	31,2
S30D70	17,4	2,5	1646,7	139,0	224,3	0,0	135,4	33,4
S50D50	17,7	2,3	1074,0	219,3	353,0	26,7	136,7	32,9
S70D30	17,9	2,2	1061,3	149,0	240,0	4,0	127,3	31,0
L10D90	18,6	1,6	786,3	138,3	223,0	2,0	125,1	30,8
L30D70	17,9	2,2	1345,0	162,0	260,5	3,0	134,2	30,8
L50D50	18,5	1,7	1590,0	272,5	354,0	6,0	152,7	30,9
L70D30	18,0	2,1	1071,7	172,3	277,0	3,0	148,0	30,9
C10D90	16,2	3,4	754,7	224,0	361,3	12,7	130,7	30,3
C30D70	19,4	1,1	836,0	111,7	179,0	7,7	139,6	30,6
C50D50	18,9	1,5	525,0	182,7	340,0	24,0	172,5	30,9
C70D30	20,6	0,2	203,7	39,3	62,7	8,7	156,2	31,2

4.3.1 Concentração de monóxido de carbono (CO)

A partir da análise de monóxido de carbono (CO) constatou-se o efeito direto das diferentes concentrações de óleo vegetal no resultado das suas emissões. Desta forma, a Figura 26, permite observar que o aumento nas emissões de CO ocorreu com o aumento percentual de óleo de soja e linhaça enquanto que as misturas feitas a partir de óleo de crambe tiveram reduções na emissão de CO. Segundo Guarieiro (2009) a formação do monóxido de carbono nas reações de combustão veiculares está relacionado a combustão incompleta, em que o combustível injetado na câmara de combustão não encontra a quantidade de ar necessário para a oxidação dos átomos de carbono presente no combustível.

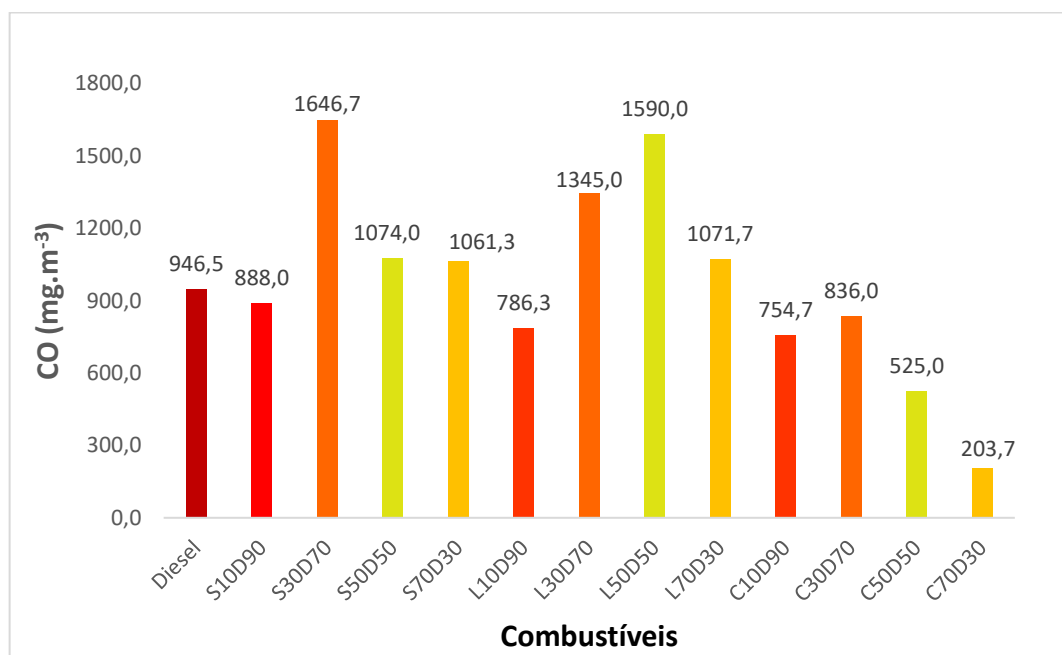


Figura 26: Emissões de monóxido de carbono (CO).

Nos combustíveis com base de óleo vegetal de soja o maior valor de emissão de monóxido de carbono foi encontrado para o combustível S30D70, composto por 30% de óleo de soja e 70% de óleo diesel, o qual obteve valor médio de emissão de 1646,7 mg.m⁻³ de CO. Com maiores concentrações de óleo de soja o nível de emissão de monóxido de carbono (CO) ficou próximo do valor de referência encontrado para o diesel, 946,5 mg.m⁻³, sendo apenas 12% maior para o combustível S70D30, composto por 70% de óleo de soja e 30% de óleo diesel.

Nos combustíveis produzidos a partir do da mistura de óleo de linhaça e diesel as concentrações de 30% e 50% de óleo de linhaça, denominados L30D70 e L50D50 respectivamente, foram as que produziram maiores emissões, onde o valor médio de L50D50 registrado foi 1590 mg.m^{-3} de CO, em torno de 68% a mais que o diesel convencional. Já para a concentração de 70% do óleo de linhaça, combustível L70D30 o valor de CO resulta em apenas 13% maior que o diesel.

Bari, Lim e Yu (2002) relatam resultados semelhantes ao presente estudo com o óleo de dendê pré-aquecido. Resultados relativos à emissão de monóxido de carbono (CO) foram 9,2% que o óleo diesel convencional.

Quando analisado os combustíveis produzidos a partir de óleo de crambe, os resultados das emissões de monóxido de carbono tiveram reduções registradas durante os ensaios. Quando testado o combustível C70D30, composto 70% de óleo de crambe e 30% de óleo diesel, o resultado da emissão de monóxido de carbono (CO) reduziu em torno de 78% em relação a combustão do diesel convencional. Segundo estudos apresentados por Rabelo (2001) a mistura de pequenas proporções de óleo vegetal ao óleo diesel promove a redução nas emissões de monóxido de carbono de 11 a 53%.

4.3.2 Concentração de dióxido de carbono (CO₂)

Observa-se na Figura 27 uma redução nas emissões de CO₂ com a adição de óleo vegetal de soja, linhaça e crambe nas misturas diesel/óleo vegetal. As reduções nas concentrações de dióxido de carbono foram mais atenuadas nos combustíveis com frações de óleo vegetal de crambe, o qual para o combustível C70D30 chegou a níveis de 0,2% de CO₂.

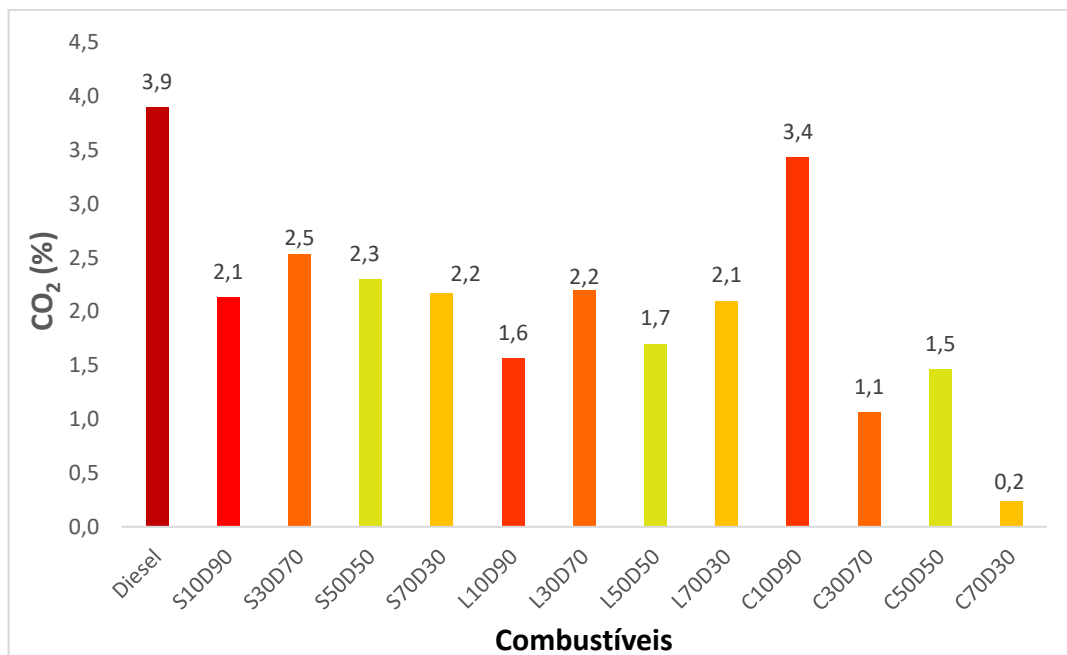


Figura 27: Emissões de dióxido de carbono (CO₂).

Segundo Pimentel (2002) estudos realizados com óleo de dendê “in natura” em geradores apresentaram reduções nas emissões de CO₂ em comparação ao óleo diesel.

No entanto os níveis de emissões de concentração de dióxido de carbono não podem ser analisados isoladamente, visto que a emissão de CO₂ está relacionada a razão ar/combustível. Segundo Valente (2007) pode haver uma redução na formação do dióxido de carbono à medida que há um distanciamento da relação ar/combustível ideal promovendo menor conversão de CO para CO₂.

4.3.3 Concentração de óxido de nitrogênio (NO_x)

Os resultados das concentrações de óxido de nitrogênio (NO_x) gerado durante os ensaios com os biocombustíveis estão apresentados na Figura 28. Os combustíveis ensaiados, em sua totalidade, obtiveram resultados de concentração de NO_x inferior ao valor do diesel convencional. O maior valor registrado foi para o combustível C10D90, composto por 10% de óleo de linhaça e 90% de óleo diesel, com valor de 361,3 mg.m⁻³, ainda assim, 41% menor que o gerado somente pelo diesel convencional.

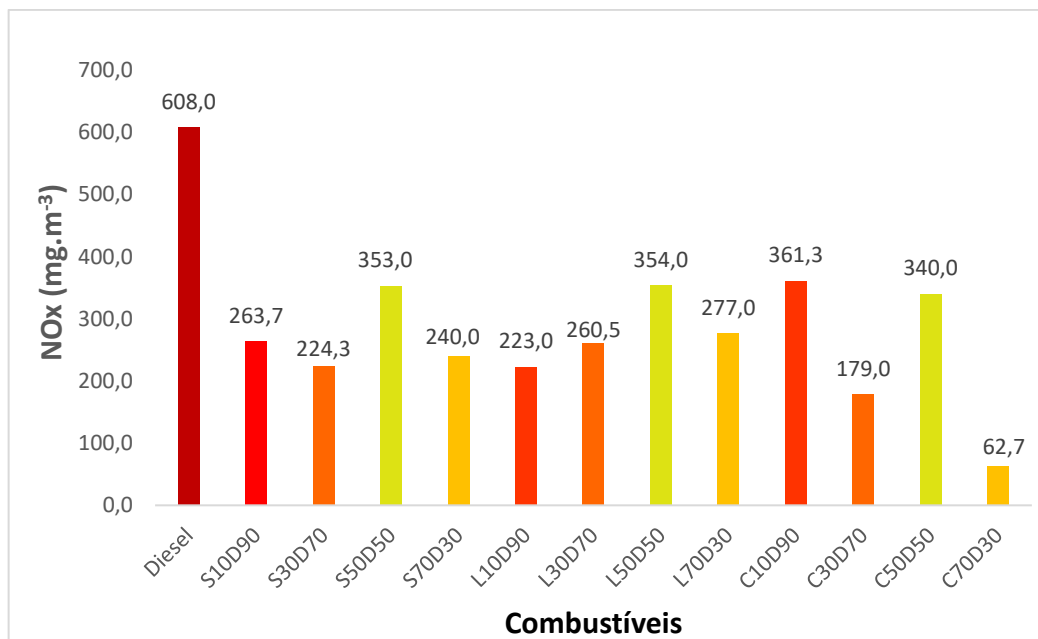


Figura 28: Concentração de óxido de nitrogênio (NO_x).

Espasandin (2011) encontrou resultados semelhantes ao operar um motor ciclo diesel com óleo de colza, com reduções nas emissões de NO_x menores em alguns regimes de carga e maiores em outros em virtudes das variações da relação ar/combustível.

4.3.4 Concentração de dióxido de enxofre (SO₂)

A partir da observação da Figura 29 nota-se a ausência de enxofre na composição molecular do óleo vegetal, em virtude dos menores índices de dióxido de enxofre (SO₂) registrados com os biocombustíveis testados. O diesel convencional, combustível naturalmente emissor de dióxido de enxofre, apresentou um valor de 71,7 mg.m⁻³, enquanto que os demais combustíveis provindos das misturas de óleo diesel e os óleos vegetais de soja, linhaça e crambe apresentaram reduções nas emissões do gás poluente.

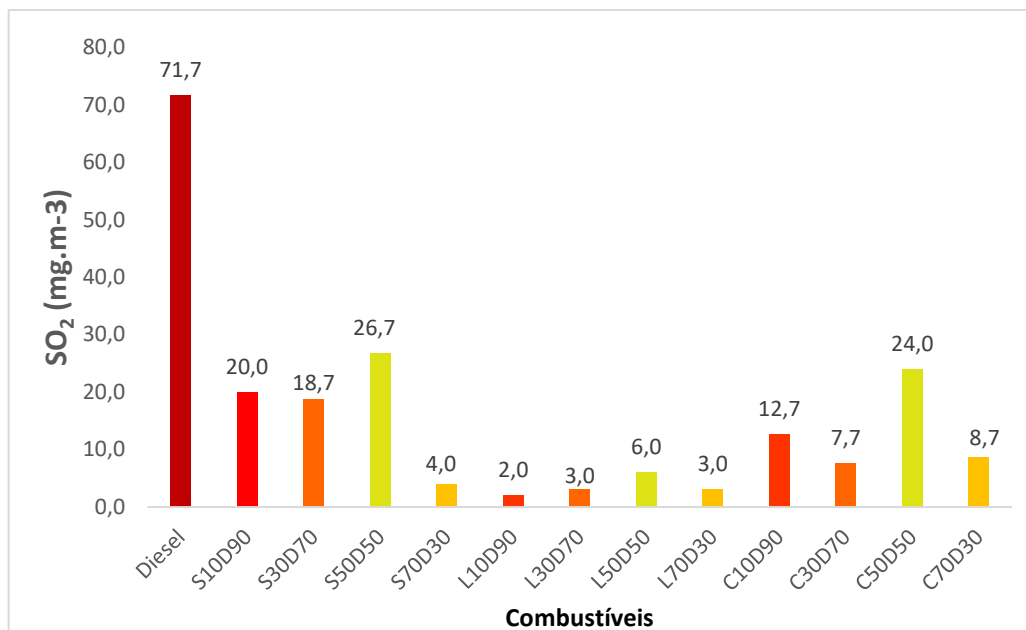


Figura 29: Concentração de dióxido de enxofre (SO₂).

Dos doze biocombustíveis testados, sete obtiveram resultados de redução da emissão de dióxido de enxofre (SO₂) superiores a 85%, São eles: S70D30, L10D90, L30D70, L50D50, L70D30, C30D70 e C70D30. Enquanto os demais combustíveis alcançaram reduções expressivas de 63% a 83%.

5. CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados de desempenho e emissões é possível concluir que as misturas de óleo vegetal de soja, linhaça e crambe com o diesel convencional em pequenas e médias concentrações, até 30%, apresentam-se como uma das soluções viáveis em substituição parcial do diesel convencional. Apesar de resultados favoráveis para maiores concentrações de óleo vegetal, devido a sua alta viscosidade e densidade, que excedem os limites permissíveis da resolução da ANP nº50/2013, se faz necessário uma inspeção do motor após ensaios de média e longa duração em componentes como bico injetor, bomba de combustível e câmara de combustão.

Os biocombustíveis ensaiados desempenharam um pequeno acréscimo de potência efetiva desenvolvida em relação ao diesel convencional, com uma variação relativa máxima de 2% para o combustível C50D50 a uma carga resistiva de 750W.

Ensaio de potência à alta carga, 3000W, registraram reduções de consumo específico em comparação ao diesel convencional para os combustíveis S10D90, L50D50 e C30D70. Em baixa carga, 750W, 100% dos biocombustíveis obtiveram menores consumos específicos em relação ao diesel convencional.

Na análise de ruído gerado pelo conjunto motor, os biocombustíveis S50D50, L10D90, L30D70, L50D50, L70D30, C10D90, C30D70, C50D50 e C70D30 apresentaram resultados estatisticamente iguais ao registrado para o conjunto motor gerador operando com diesel convencional.

Os níveis de emissões apresentaram como resultados reduções nas emissões de monóxido de carbono (CO) para os combustíveis S10D90, L10D90 e todos os biocombustíveis do grupo do óleo vegetal de crambe, com redução de 78% para o combustível C70D30. Sete dos doze biocombustíveis testados obtiveram reduções superiores a 85% na emissão de dióxido de enxofre (SO₂). Níveis de CO₂ próximos a operação com o diesel convencional, indicando eficiência na combustão, foram encontrados para os combustíveis S10D90, S30D70, L30D70 e C10D90.

Pelas considerações acima, é possível afirmar que a utilização de blends de diesel/óleo de soja, diesel/óleo de linhaça e diesel/óleo de crambe, em teor máximo de 30%, é uma opção para substituição parcial do diesel convencional para geração local de energia elétrica em comunidades isoladas.

6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como estudo futuro desta temática e de modo a contemplar uma análise mais abrangente de dados são sugeridas algumas ações: Análise de vibração do conjunto motor gerador como técnica preditiva de análise de falha no conjunto motor gerador sob a operação dos combustíveis a base de óleo vegetal; termografia do conjunto motor gerador com o uso dos óleos vegetais para análise da eficiência da combustão pelo mapeamento térmico do conjunto motor gerador; desenvolvimento de um sistema de recirculação dos gases de exaustão para pré-aquecimento do combustível a base de óleo vegetal antes da alimentação da bomba injetora.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução nº 45, de 2014. **Resolução ANP Nº 45 de 25/08/2014**.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário Estatístico 2016**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=82260>>. Acesso em: 22 Abr. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 3046/1**: – Motores de Combustão Interna Alternativos – Desempenho – Parte 1: Condições-Padrão de Referência e Declarações de Potência e de Consumos de Combustível e Óleo Lubrificante. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 15 p.

BARBOSA, Ronald Leite et al. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p.1588-1593, out. 2008.

BARABÁS, I.; TODORUT, I-A. Utilization of biodiesel-diesel-ethanol blends in CI engine. Biodiesel-Quality, Emissions and By-products. **InTech Publisher**. 2011.

BARI, S.; LIM, T.h.; YU, C.w.. Effects of preheating of crude palm oil (CPO) on injection system, performance and emission of a diesel engine. **Renewable Energy**, v. 27, n. 3, p.339-351, nov. 2002.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética - Epe. Ministério de Minas e Energia (Org.). **Balanco energético nacional**. Rio de Janeiro, 2016. 62 p.

BRASIL. José Marcos Gontijo Mandarino. Embrapa (Org.). **Tecnologia para produção do óleo de soja**: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 43 p.

BRASIL. Resolução nº 382, de 02 de janeiro de 2007. **Resolução Conama**: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. p. 131-137.

BRASIL. PORTAL BRASIL. **Aumento do biodiesel no diesel ajudará Brasil a cumprir metas ambientais**. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/governo/2016/03>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

CARUSO, Rubens. **Soja uma caminhada sem fim**: como a soja conquistou o mundo e o brasil. 5. ed. Campinas: Ccd Editora Ltda, 1997. 95 p.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Nova Iorque: Mcgraw-hill, 2013. 698 p. Tradução de: Anatólio Laschuk.

CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 9., 2014, Florianópolis. Sistema para Diagnóstico Termomecânico de Falhas em Motores de Combustão Interna. Florianópolis: **Sbpe**, 2014. 14 p.

COLODETTI, Tafarel Victor et al. Crambe: aspectos gerais da produção agrícola. Enciclopédia Biosfera, Goiania: **Centro Científico Conhecer**, Goiania, v. 8, n. 14, p. 258-269, 2012.

COSTA, Yoge Jeronimo Ramos da. **Análises Energética e Exergética de um Motor de Combustão Interna Operando com Mistura de Diesel e Gás Natural**. 2007. 209 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Processos, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

DALL'AGNOL, Amélio. Por que fazemos biodiesel de soja. 2007. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/convidado/porque-fazemos-biodiesel-de-soja.htm>>. Acesso em: 17 maio 2017.

D'ARCE, Marisa Aparecida Bismara Regitano. O processo industrial do óleo vegetal e do farelo. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 5, n. 1, p.140-141, jun. 2006. Semestral.

DELALIBERA, Hevandro Colanhese. **DESEMPENHO DE MOTOR DIESEL ALIMENTADO COM ÓLEO VEGETAL**. 2014. 70 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

DIAS, Marcelo Fernandes Pacheco et al. ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE SOJA NO BRASIL. **Revista de administração**, Frederico Westphalen, v. 8, n. 14, p.14-45, set. 2009.

ESPASANDIN, R. L. **Estudo sobre a utilização de óleos de origem vegetal em motores diesel não modificados**. 2011. 107 f. Tese - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. , Porto, 2011.

ESTEBAN, Bernat et al. Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils. **Biomass And Bioenergy**, v. 42, p.164-171, jul. 2012.

ESTRADA, Javier Solis et al. Emissões de gases poluentes de um motor ciclo Diesel utilizando misturas de biocombustíveis. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 33, p.274-279, 13 out. 2016.

FARIA, Ivan Dutra et al. **A Utilização de Óleo Vegetal Refinado como Combustível - Aspectos Legais, Técnicos, Econômicos, Ambientais e Tributários**. Brasília: Centro de Estudos e Consultoria do Senado, 2010. 64 p.

FERNANDES, Fábio Matos et al. BIODIESEL NO MUNDO E NO BRASIL: SITUAÇÃO ATUAL E CENÁRIOS FUTUROS. In: CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 10. 2015, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: USP, 2015. p. 1 - 10.

FREITAS, Márcio de Campos Martins de. A Cultura da Soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 12, p.1-11, maio 2011.

GABRIEL, R. et al. CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE TEMPERATURAS PARA A VISCOSIDADE E DENSIDADE DAS BLENDS FORMADAS COM DIESEL MINERAL E BIODIESEL DE COCO, DENDE E OURICURI. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, p.1-8, fev. 2015. Editora Edgard Blücher.

GABRIEL FILHO, Antonio et al. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v. 14, n. 3, p.333-339, mar. 2010.

GALDINO, Jean Carlos da Silva. **Grupo Motor Gerador**. Curso de Manutenção de Ferrovia. Parnamirim, 2011.

GARCIA, Maurício Sanches. **ANÁLISE DE DEFEITOS EM SISTEMAS MECÂNICOS ROTATIVOS A PARTIR DA MONITORAÇÃO DE VIBRAÇÕES**. 2005. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo: Edusp, 2011. 400 p.

GONZALEZ, Wilma Araújo et al. **Biodiesel e Óleo Vegetal in Natura: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Mme, 2008. 168 p.

GONZÁLEZ, Andrés Rojas; ANAYA, Óscar chaparro; OSPINA, Carlos Andrés. Evaluación de mezclas biodiesel-diesel en la generación de energía eléctrica. **Ing. Univ. Bogotá**, Bogotá, v. 15, n. 2, p.319-336, jul-dez. 2011. Semestral.

GROTTA, D.C.C. **Desempenho de um trator agrícola em operação de gradagem utilizando biodiesel etílico filtrado de óleo residual como combustível**. 2003. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Unesp, Jaboticabal, 2003.

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Poluentes Atmosféricos Proveniente da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, Salvador, v. 3, n. 5, 16 nov. 2011.

GUARIEIRO, L. L. N., e GUARIEIRO, A. L. N. Vehicle Emissions: What Will Change with Use of Biofuel? **InTech**. p. 357-386. 2013

GUERRA, Edson Perez; FUCHS, Werner. Biocombustível renovável: uso de óleo vegetal em motores. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 8, n. 1, p.103-112, jan. 2010. Trimestral.

IMTENAN, S. et al. Emission and Performance Improvement Analysis of Biodiesel-diesel Blends with Additives. **Procedia Engineering**, v. 90, p.472-477, 2014.

INOUE, Gerson Haruo. **Uso do óleo vegetal em motor estacionário ciclo diesel**. 2008. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

KNOTHE, Gerhard et al. **Manual do biodiesel**. São Paulo: Editora Blucher, 2006. 323 p.

KNIGHTS, S. E. Crambe: a north dakota case study. **The Regional Intitute online publishing**, p. 25, 2003.

JASPER, Samir P. et al. Análise Energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica hochst*) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p.395-403, jun. 2010.

LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira; LEAL, Manoel Régis L. V.. O BIOCMBUSTÍVEL NO BRASIL. **Novos Estudos**, São Paulo, v. 1, n. 78, p.15-21, jul. 2007.

LIU, Keshun. **Soybeans: chemistry, technology, and utilization**. Eua: An Aspen Publication, 1997. 531 p.

MACHADO, Paulo Romeu Moreira. **Avaliação de desempenho de óleo de soja como combustível para motores diesel**.2003. 212 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

MARTINI, Johnny; DELALIBERA, Hevandro Colonhese; WEIRICH NETO, Pedro Henrique. CONSUMO DE ÓLEO DE SOJA PRÉ-AQUECIDO POR MOTOR DIESEL. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 2, n. 18, p.213-220, jun. 2012

MARTINS, G. B. C.; MELLO, V. M.; SUAREZ, P. A. Z. Processos térmicos em óleos e gorduras. **Revista Virtual de Química**, Brasília, v. 5, n. 1, p.16-25, 18 jan. 2013.

MELO, José Antônio Sales de. **Inovação tecnológica: o uso direto de óleos vegetais como vetor energético no brasil**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento Sustentável, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2009.

MITCHELL, William J.; BORRINI-BIRD, Christopher E.; BURNS, Lawrence D. **A reinvenção do automóvel: mobilidade urbana pessoal para o século XXI**. São Paulo: Alaúde, 2010. 240 p.

MOFIJUR, M., et al. Role of biofuel and their binary (diesel-biodiesel) and ternary (ethanol-biodiesel-diesel) blends on internal combustion engines emission reduction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 53, p. 265- 278. 2016.

MORAN, Michael J. et al. **PRINCÍPIOS DE TERMODINÂMICA PARA ENGENHARIA**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2014. 947 p.

MOREIRA, Deny Cesar. Uso de óleos vegetais puros como combustíveis para motores diesel. **Desafios: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do**

Tocantins, Araguaína, v. 2, n. 2, p.240-251, 31 maio 2016. Universidade Federal do Tocantins.

MORET, Artur de Souza; GUERRA, Sinclair Mallet Guy. GERAÇÃO DE ELETRICIDADE E QUALIDADE DE VIDA: ANÁLISE DE UM SISTEMA APLICADO. **Delos: Desarrollo Local Sostenible**, Málaga, v. 5, n. 14, p.1-10, jun. 2012.

NEPOMUCENO, Alexandre Lima; FARIAS, José Renato Boucas; NEUMAIER, Norman. **árvore do conhecimento da soja**: características da soja. 2006. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

OLIVEIRA, Sibeles Vasconcelos de; REYS, Marcos Alves dos. Estruturação e consolidação da produção do biodiesel - base de soja - no rio grande do sul. **Extensão Rural**, Santa Maria, v.8, n. 17, p.93-116, jun. 2009.

PARANÁ. Carlos Borba. Copel. **Manual de Eficiência Energética na Indústria**. Curitiba: Fix To Fix, 2005.

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

PAGLIUSO, J.D. (1984). **Combustíveis e combustão**. São Carlos: EESC/USP. Apostila.

PEREIRA, José Claudio. **Motores e Geradores**. Revisão 3. 2006. 121p Disponível em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br/mmotor/apostila.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

PIGHINELLI, Anna Leticia Montenegro Turtelli. **ESTUDO DA EXTRAÇÃO MECÂNICA E DA TRANSESTERIFICAÇÃO ETÍLICA DE ÓLEOS VEGETAIS**. 2010. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

PINHEIRO, Hélio. **Geradores de Corrente Alternada**. 2007. 21p. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-acionamentos-eletricos/apostila-de-maquinas-de-cc/view>>. Acesso em: 04 set. 2017

PIMENTEL, Valéria Said de Barros. **Análise e diagnose de diesel-geradores operando com óleo de dendê "in natura"**.2002. 179 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

PLEIN, G. S. et al. Caracterização da fração lipídica em sementes de crame armazenadas com e sem casca: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA E I SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 4., 2010, João Pessoa. Anais... João Pessoa: **Embrapa Algodão**, 2010.

QUEIROZ, D.S. **Transesterificação de triacilglicerol de óleo de milho e soja: Análise quimiométrica do processo e propriedades físico-químicas essenciais do produto, para uso como combustível**. Doutorado, Programa Multi-Institucional de Doutorado em Química da UFG/UFMS/UFU, Uberlândia, 2011.

RABELO, I.D. **Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura.** 98f. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia do CEFET, Curitiba, 2001.

RABETAFIKA, N.H.; REMOORTEL, V.V.; DANTHINE, S. et al. Flaxseed proteins: food uses and health benefits. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 46, p.221–228, 2011.

REIS, Elton F. dos et al. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p.565-571, 08 mar. 2013.

REIS, Elton Fialho dos et al. USO DO ÓLEO DE SOJA PRÉ-AQUECIDO EM UM MOTOR ESTACIONÁRIO DE CICLO DIESEL. **Reveng: engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 4, p.305-314, ago. 2015. Bimestral.

RIAZ, Mian N. **Soy applications in food.** New York: Taylor & Francis Group, 2006. 288 p.

SALDANA, Diego Alonso et al. Flash Point and Cetane Number Predictions for Fuel Compounds Using Quantitative Structure Property Relationship (QSPR) Methods. **Energy & Fuels**, v. 25, n. 9, p.3900-3908, 15 set. 2011. American Chemical Society (ACS).

SHAHIR, S. A., et al. Performance and emission assessment of diesel-biodieselethanol/bioethanol blend as a fuel in diesel engines: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V.48, p. 62-78. 2015.

ŞENSÖZ, Sevgi; KAYNAR, İlke. Bio-oil production from soybean (*Glycine max L.*); fuel properties of Bio-oil. **Industrial Crops And Products**, v. 23, n. 1, p.99-105, jan. 2006. Elsevier BV.

SANTOS, Marco Aurélio dos (Org.). **Fontes de energia nova e renovável.** Rio de Janeiro: Ltc, 2013. 197 p.

SHIROUZU, Norihiko. **A líder chinesa na corrida do carro elétrico.** 2009. Disponível em: <<http://gvces.com.br/a-lider-chinesa-na-corrida-do-carro-eletrico?locale=pt-br>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

SILVA, P.R.F.; FREITAS, T.F.S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p. 843-844, maio-junho, 2008.

SOARES, Guilherme F.W.; VIEIRA, Leonardo S.R.; NASCIMENTO, Marcos V. G. **Operação de um grupo gerador diesel utilizando óleo vegetal bruto como combustível.** Encontro de Energia no Meio Rural, 2000, Campinas, 2003.

TAVARES, R. Apostila de práticas – Físico-química. UFCE.2011. Disponível em: <http://www.labufc.com.br/arqs/Apostila_FQII.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2017

VALENTE, Osmano Souza. **Desempenho e emissões de um motor-gerador de energia elétrica operando com biodiesel**. 2007. 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

VIVIAN, Carolina Aguiar dos Santos; BORNIA, Antonio Cezar. Cenários de custos para a produção de biodiesel de soja no Brasil. **Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias**, Carabobo, v. 9, n. 12, p.23-37, jul. 2014. Semestral.

VOLPATO, Carlos Eduardo Silva et al. DESEMPENHO DE MOTOR DIESEL QUATRO TEMPOS ALIMENTADO COM BODIESEL DE ÓLEO DE SOJA (B 100). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p.1125-1130, jul. 2009. Bimestral.

WAZILEWSKI, Willian Tenfen et al. Study of the methyl crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) and soybean biodiesel oxidative stability. **Industrial Crops And Products**, v. 43, p.207-212, maio 2013.