



GEOVANI MARQUES LAURINDO

**ENSAIO DE MOTOR CICLO DIESEL COM
DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIODIESEL
DE ALGODÃO**

LAVRAS - MG

2018

GEOVANI MARQUES LAURINDO

**ENSAIO DE MOTOR CICLO DIESEL COM DIFERENTES
PROPORÇÕES DE BIODIESEL DE ALGODÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato

Orientador

Prof. Dr. Pedro Castro Neto

Coorientador

LAVRAS - MG

2018

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Laurindo, Geovani Marques.

Ensaio de motor ciclo diesel com diferentes proporções de biodiesel de algodão/ Geovani Marques Laurindo. - 2018.

85 p. : il.

Orientador: Carlos Eduardo Silva Volpato.

Coorientador: Pedro Castro Neto.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Óleo de algodão. 2. Controle de emissões. 3. Desempenho dinamométrico. I. Volpato, Carlos Eduardo Silva. II. Castro Neto, Pedro. III. Título.

GEOVANI MARQUES LAURINDO

**ENSAIO DE MOTOR CICLO DIESEL COM DIFERENTES
PROPORÇÕES DE BIODIESEL DE ALGODÃO**

**DIESEL-CYCLE ENGINE TEST WITH DIFFERENT PROPORTIONS
OF COTTON BIODIESEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Pedro Castro Neto	UFLA
Prof. Dr. Jackson Antônio Barbosa	UFLA
Prof. Dr. Ronald Leite Barbosa	IFMG

Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato
Orientador

LAVRAS-MG

2018

A DEUS, primeiramente.

*A meus pais, Maria José e Edson, e minha
irmã, Rose por todo amor, apoio e
incentivo dado em todos os meus anos de
vida.*

*À minha namorada Juliana, pelo amor,
apoio e grande incentivo.*

*A meus avós José e Terezinha que estão
junto de DEUS, mas tenho certeza que
continuam olhando por mim.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Laboratório de Pesquisa em Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, pela possibilidade de execução deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo, CNPq, FINEP, FAPEMIG, RBTB e OLEA, pelo apoio a pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Eduardo Silva Volpato, pela confiança, orientação, conhecimentos e profissionalismo.

Aos professores Pedro Castro Neto (UFLA), Antônio Carlos Fraga (UFLA) e Lucas Ambrosano (UEM), pelo apoio, dedicação, amizade, conhecimentos e profissionalismo durante os muitos anos de trabalho.

Aos pós-graduandos Douglas Pelegrini Vaz-Tostes, Rafael Peron Castro e Diego Alonso.

Aos amigos e membros do Núcleo de Pesquisas em Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel (G-óleo), principalmente aos integrantes do laboratório de química, Juliana, Danilo, Diego, Marcela, Rafaella e Larissa's, Arnon e João Henrique, pelo auxílio na instrumentação do ensaio.

À Cooperativa dos Produtores Rurais de Catuti (COOPERCAT), em nome do Sr. José Tibúrcio Soares, pela disponibilização das sementes utilizadas na pesquisa, e a Associação Mineira dos Produtores de Algodão (AMIPA).

À professora Elisangela Elena Nunes Carvalho e o Laboratório de Pós-colheita de frutas e hortaliças pela ajuda nas análises químicas.

À secretária do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFLA, Helen, pela dedicação, paciência e comprometimento.

Todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro”. (Albert Einstein)

RESUMO

O algodão é a principal planta fibrosa do mundo, e muitos estudos são necessários para agregar maior valor ao caroço, que é fonte de proteína e óleo com elevado potencial para produção de biocombustíveis. Neste trabalho, objetivou-se avaliar o desempenho de um motor de ciclo diesel e suas emissões ao se utilizar diesel comercial S10 e misturas com biodiesel de óleo de algodão, sendo analisado o S10 puro e as misturas adicionais B2, B6, B12, B20, B24, B50, B80 e B100, considerando que o diesel S10 comercial já possui 8% de biodiesel em sua composição. Para os ensaios, um Trator A950 foi utilizado. Para a realização dos ensaios de desempenho do trator foi empregado a metodologia indicada na norma ABNT NBR ISO 1585 e para os testes de emissões a norma NBR 14489. O resultado obtido foi como de acordo com vários autores que encontraram um decréscimo no torque e potência do motor com o uso de biodiesel 100%. As misturas com diesel comercial tenderam a ser maior o torque e potência obtidos com uso 100% de diesel comercial. O resultado para as emissões foram de decréscimo para emissão de Hidrocarbonetos com o acréscimo de biodiesel de óleo de algodão no diesel comercial, no caso do monóxido e do dióxido de carbono houve aumento nos níveis com o aumento da proporção de biodiesel no diesel. Podendo concluir que a mistura mais viável tecnicamente neste trabalho foi a B24, que apresentou maiores valores de torque e potência com consumo mediano entre as misturas.

Palavras-chave: Óleo de algodão. Controle de emissões. Desempenho dinamométrico.

ABSTRACT

Cotton is the main fibrous plant in the world, and many studies are needed to add more value to cottonseed, which is a source of protein and oil with high potential for the production of biofuels. The objective of this work was to evaluate the performance of a diesel cycle engine and its emissions when using commercial diesel S10 and mixtures with biodiesel of cotton oil. It was analyzed pure S10 and blends B2, B6, B12, B20, B24, B50, B80 and B100, considering that commercial diesel S10 already has 8% biodiesel in its composition. An A950 Tractor was used for the tests. In order to perform the tractor performance tests, the methodology indicated in the ABNT NBR ISO 1585 standard was used and for the emissions tests the standard NBR 14489. The obtained results were similar to several researches, in which there were a decrease in torque and power of the engine with the use of 100% biodiesel. The mixtures with commercial diesel tended to be higher in torque and power with the use of 100% commercial diesel. Regarding emissions, there was a decrease in hydrocarbon emissions with the addition of biodiesel from cotton oil in commercial diesel, while monoxide and carbon dioxide levels increased with the increase of biodiesel proportion in diesel. It can be concluded that the most technically feasible mixture in this work was B24, which presented higher values of torque and power, with medium consumption between the blends.

Keywords: Cotton oil. Emission control. Dynamometric performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Prensa extratora tipo expeller extraindo óleo de algodão.....	47
Figura 2 - Filtro prensa utilizado na degomagem.	48
Figura 3 - Elemento filtrante do filtro prensa com borra da degomagem.	48
Figura 4 - Biodiesel de algodão.	50
Figura 5 - Trator Valtra A950.	52
Figura 6 - Dinamômetro AW Dynamometer NEB 200 acoplado ao trator.	52
Figura 7 - Painel de comando do dinamômetro.	53
Figura 8 - Fluxômetro Oval M-III LDF40.	54
Figura 9 - Tela de leitura dos dados do analisador de gases.	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Torque na TDP com diesel S10 comercial.....	63
Gráfico 2 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B2).	64
Gráfico 3 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B6).	64
Gráfico 4 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B12).	65
Gráfico 5 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B20).	65
Gráfico 6 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B24).	66
Gráfico 7 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B50).	66
Gráfico 8 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B80).	67
Gráfico 9 - Curva de torque na TDP com biodiesel B100.....	67
Gráfico 10 - Curva de potência na TDP para o diesel S10.	69
Gráfico 11 - Curva de potência na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B24).....	69
Gráfico 12 - Curva de potência na TDP com biodiesel B100.....	70
Gráfico 13 - Consumo pelo método da proveta do combustível comercial S10.....	71
Gráfico 14 - Consumo pelo método da proveta da mistura B24.....	71
Gráfico 15 - Consumo pelo método da proveta do combustível B100.....	72
Gráfico 16 - Consumo pelo método do fluxômetro no combustível S10.	73
Gráfico 17 - Consumo pelo método do fluxômetro no combustível B24.	73
Gráfico 18 - Consumo pelo método do fluxômetro no combustível B100.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90).	38
Quadro 2 - Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar.	39
Quadro 3 - Sequência de aceleração e carga para o teste de análise de gases.	56
Quadro 4 - Valores médios para as variáveis analisadas no ensaio dinamométricos em cada mistura de combustível utilizada.	61
Quadro 5 - Valores de CO (%) para todos os combustíveis utilizados no trabalho.	75
Quadro 6 - Valores de CO ₂ (%) para todos os combustíveis utilizados no trabalho.	76
Quadro 7 - Valores de HC (ppm) para todos os combustíveis utilizados no trabalho.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da caracterização física das sementes antes do processo de deslintamento.....	59
Tabela 2 - Teor de óleo do caroço de algodão em função do tipo de extração.	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo geral	19
2.2	Objetivos específicos	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1	Motor de ignição por compressão	21
3.1.1	Torque do motor	23
3.1.2	Potência efetiva do motor	24
3.1.3	Consumo específico de combustível	25
3.2	Combustão e combustíveis	27
3.3	Biodiesel	28
3.4	Trajatória histórica do biodiesel	32
3.5	Vantagens no uso do biodiesel	35
3.6	Padrões de qualidade e inspeção veicular	36
3.7	Matérias - primas de óleos vegetais para produção de biodiesel	39
3.7.1	Algodão como fonte de óleo para produção de biodiesel	40
3.8	Processo de produção do biodiesel	42
4	MATERIAL E MÉTODOS	45
4.1	Caracterização física	45
4.1.1	Teor de óleo	46
4.2	Extração do óleo	46
4.3	Degomagem	47
4.4	Clarificação	49
4.5	Produção do biodiesel	49
4.5.1	Transesterificação	49
4.5.2	Purificação do biodiesel	50
4.6	Testes de desempenho	51
4.6.1	Determinação do consumo de combustível	53
4.6.2	Determinação dos gases emitidos	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1	Análises do caroço de algodão	59
5.1.1	Caracterização física	59
5.1.2	Teor de óleo	60
5.2	Testes dinamométricos	61
5.3	Emissão de gases	74
6	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do algodão é extremamente importante, é uma das dez maiores fontes de riqueza no setor agropecuário brasileiro. Além do seu principal produto (fibra), o uso de subprodutos da cultura se intensifica cada vez mais. O algodão é cultivado em mais de 60 países, mas apenas sete deles são responsáveis por quase 80% da produção mundial, que são: China, Índia, Estados Unidos, Paquistão, Brasil, Uzbequistão e Turquia. A fibra é o principal produto do algodão, tem várias aplicações industriais, entre as quais podemos citar: fabricação de fios para tecelagem de vários tipos de tecidos, preparação de algodão hidrófilo para enfermarias, fabricação de feltro, cobertores, embalagem, obtenção de celulose, entre tantas outras coisas. Atualmente, nas usinas brasileiras, o algodão atinge cerca de 80% das fibras utilizadas. Na tecelagem, 65% dos tecidos são feitos de fios de algodão, enquanto na Europa é de cerca de 50%.

A semente de algodão é rica em óleo (entre 18 e 25%) e contém entre 20 e 25% de proteína bruta. O óleo extraído da semente, após a refinação, é utilizado na nutrição humana, no fabrico de margarina, biodiesel e sabão. O revestimento de semente é usado para fazer certos tipos de plásticos e borracha sintética. Além disso, o óleo de algodão tem uma alta porcentagem de ácidos graxos insaturados (oleico e linoleico) e uma menor proporção de ácidos saturados, o caso do ácido palmítico, o que lhes confere uma excelente opção para a produção de biodiesel.

A constante e crescente necessidade de desenvolver fontes renováveis de combustível, mantém em alta principalmente a pesquisa na área da busca por fontes e aperfeiçoamento no sistema de produção do biodiesel e também no funcionamento de motores.

A busca por combustíveis alternativos que equilibrem o efeito negativo dos combustíveis fósseis é uma necessidade mundial, no entanto, deve ser de forma gradual, sem radicalizações. Essa busca deve ser uma das prioridades mundiais nos próximos anos e décadas (BENITEZ et al., 2016).

O biodiesel tomou relevância de nível internacional, em razão da crise ocasionada pelos combustíveis fósseis, ocasionando elevação dos preços, sendo motivada pela sua escassez e problemas ambientais causados por tal fonte de combustível. Inúmeras fontes para a obtenção de biodiesel são estudadas, no entanto, muitas dessas, batem de frente com o problema da competição por produção de alimentos (BARBOSA et al., 2008).

Biocombustível é todo combustível produzido com base em biomassa renovável, seja ela vegetal ou animal, para a utilização em motores à combustão interna ou para uso em caráter de geração de energia, sendo possível a substituição total ou de parte de combustíveis de origem fóssil, conforme Lei nº. 9478/97 (VOLPATO et al., 2012). Segundo definição da National Biodiesel Board, o biodiesel é um combustível composto de mono-alkilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou gorduras animais, do qual, o uso se é dado a substituir combustíveis de origem fóssil em motores do ciclo diesel (COSTA NETO et al., 2000).

Como visto em Reis et al. (2013), pesquisadores vêm confirmando, cada vez mais, a notória diminuição dos níveis de emissão de gases poluentes como o monóxido de carbono, hidrocarbonetos e fuligem com a utilização do biodiesel, no entanto, níveis maiores de óxido de nitrogênio já foram observados no uso de Biodiesel 100% (B100). Notoriamente, observa-se um aumento gradativo da emissão de monóxido de carbono, com o aumento da carga exercida no motor, no entanto, observa-se que a diminuição da emissão se dá conforme vai aumentando a quantidade de biodiesel na mistura de combustíveis (REIS et al., 2013). Uma das maiores preocupações do usuário e do pesquisador consiste em

saber se há perda de potência e torque do motor. Muitos afirmam que a perda acontece, no entanto não é perceptível durante a atuação prática do motor, como visto em Silva, Borges e Antoniosi Filho (2016), a perda de torque varia em torno de 10% e a de potência varia em torno de 6%.

Apesar dessas inúmeras vantagens da substituição do diesel pelo biodiesel, ambos possuem considerável emissão de poluentes na combustão veicular, logo, é preciso que haja investimentos e pesquisas suficientes a fim de buscar a melhoria desse produto em relação à contaminação atmosférica que este possa causar, sem que suas propriedades de rendimento e eficiência sejam afetadas.

Os poluentes presentes na emissão veicular dos motores movidos a diesel são óxidos de carbono (COx), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre (SOx) e materiais particulados (MP). Esses elementos são responsáveis pela contaminação do ar, logo, o uso de um combustível que tenha uma emissão reduzida destes, mesmo que pequena, fará uma grande diferença em escala nacional para a qualidade de vida da população. Na intenção de contribuir para o desenvolvimento de tecnologias que incentivem a produção responsável de biocombustíveis, este trabalho utilizou o algodão (*Gossypium hirsutum* L.) como fonte de óleo para a produção do biodiesel que foi utilizado nos testes dinamométricos e também de emissão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Neste trabalho, objetivou-se avaliar o desempenho de um motor de ciclo diesel, utilizando como combustível o biodiesel de óleo de algodão em substituição ao óleo diesel, podendo, assim, indicar a faixa de mistura de melhor desempenho técnico.

2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o efeito de diferentes misturas de biodiesel no torque, potência e consumo de combustível do motor;
- b) Avaliar o efeito de diferentes misturas de biodiesel nos níveis de emissões de gases (CO, CO₂ e HC).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Motor de ignição por compressão

Os motores de ignição por compressão também são chamados de motores do ciclo diesel. O ciclo de funcionamento é o conjunto de transformações na massa gasosa no interior da câmara, desde a sua admissão, até a sua eliminação para o exterior. O ciclo diesel foi primeiro descrito por Rudolf Diesel 1893. O ciclo se completa em dois ou quatro cursos do pistão, quando o motor completa o ciclo em dois cursos do pistão é chamado de motor de dois tempos e quando completa o ciclo em quatro cursos é chamado motor de quatro tempos, admissão, compressão, expansão e exaustão são as 4 fases denominadas de tempos do motor (HEYWOOD, 1988).

A combustão no motor o transforma em fonte de potência mecânica em que a mistura admitida (ar e combustível) é queimada no interior da câmara seguida da exaustão dos gases gerados. A força resultante dessa expansão é recebida pelo êmbolo (pistão), situado no interior da câmara de combustão sendo ligado, pela biela, à árvore de manivelas (virabrequim). O movimento alternado do pistão ao longo do cilindro transforma-se em movimento de rotação por meio do sistema biela/manivela (SILVA, 2003).

O Sistema de alimentação dos motores de combustão é responsável pelo suprimento de ar e combustível ao motor. No sistema diesel, o combustível é injetado nos cilindros por um caminho distinto do percorrido pelo ar. A admissão do ar ocorre quando o pistão se desloca do ponto morto superior para o ponto morto inferior com a válvula de admissão aberta, injetando o combustível na câmara de forma pulverizada. Em sequência, o combustível em contato com o ar comprimido e quente se inflama instantaneamente, a temperatura em que o ar

se encontra no cilindro é em torno de 700°C, diferindo muito do motor de ciclo Otto que tem a temperatura próxima de 280°C (BOULANGER, 1978).

Com a variação da quantidade de combustível injetado nos cilindros, o fluxo de ar em uma dada rotação do motor não é necessariamente modificado. Os motores podem ser naturalmente aspirados onde o ar atmosférico é consumido e também, motores turbo onde o ar de entrada é comprimido por um turbo compressor movido pelos gases de exaustão e motores sobrealimentados onde o ar é comprimido por uma bomba acionada mecanicamente ou um soprador. A sobrealimentação aumenta a potência de saída do motor, aumentando o fluxo de massa por unidade de volume de ar deslocado, assim possibilitando o aumento do fluxo de combustível (HEYWOOD, 1988).

Taxa de compressão é a proporção entre o volume aspirado, somado ao volume da câmara de combustão em relação ao volume da câmara, que em motores de ignição por compressão tem valores na faixa de 12 a 24, sendo dependente do tipo de aspiração do motor, naturalmente aspirado, turbinado ou sobrealimentado. O ar, próximo à pressão atmosférica, é admitido e, então, comprimido em uma pressão em torno de 4,0 MPa e em uma temperatura em torno de 700° C, durante o tempo de compressão. Em torno de 20° antes do ponto morto superior, começa a injeção de combustível para dentro da câmara. O jato de combustível líquido se pulveriza e entra no ar. O combustível líquido se evapora; fazendo com que o vapor de combustível se misture com ar em proporções combustíveis. A temperatura e a pressão se elevam até acima do ponto de ignição do combustível. Assim, após um breve período de atraso (*delay*), a ignição espontânea das partes heterogêneas da mistura ar-combustível inicia o processo de combustão, e a pressão do cilindro tem um aumento acima do nível onde o motor estava sem combustão (HEYWOOD, 1988).

Após a fase da queima do combustível, o processo de expansão dá prosseguimento ao ciclo, a mistura entre combustível, ar e gases queimados,

continua acompanhada por uma combustão que ocorre posteriormente. Na carga completa, a massa de óleo diesel injetada é próxima de cinco por cento da massa de ar no cilindro. A quantidade de combustível não queimada pode ser vista pelos níveis de fumaça negra na exaustão dos gases. No final do tempo de exaustão, o ciclo se inicia novamente (HEYWOOD, 1988).

Silva (2003) descreve o ciclo termodinâmico de quatro tempos que se aplica ao diesel como correspondendo a quatro cursos do pistão, ou seja, a duas voltas do virabrequim, observando, também, que são seis os processos térmicos realizados durante o ciclo. Sendo o primeiro tempo, do PMS ao PMI, admissão de ar puro, aqui o processo é isobárico, no segundo tempo, do PMI ao PMS, compressão do ar puro acerca de 40 bar, nesse tempo ocorre o processo adiabático, o terceiro tempo, do PMS ao PMI, injeção do combustível, seguido de combustão isobárica, e expansão adiabática, o quarto tempo, do PMI ao PMS, abertura da válvula de escape que é isovolumétrico, finalizando com o escapamento dos gases queimados sendo isobárico.

3.1.1 Torque do motor

De acordo com Mialhe (1980), torque é um momento, conjugado ou binário, que tende a produzir ou que produz rotação; é o produto de uma força por um raio comumente denominado braço de torque. A medição do torque consiste, basicamente, em estabelecer a intensidade de uma força que está agindo, na extremidade de um braço, tende a produzir ou produz movimento de rotação. Quando o movimento de rotação é limitado, como no caso de porcas e parafusos, essa mensuração é feita por meio de um torquímetro. No caso de movimento rotativo contínuo, como acontece nos motores, o torque é medido pelos dinamômetros de absorção ou freios dinamométricos.

O torque provocado pelo produto da força desenvolvida sobre os pistões por um braço de alavanca passa por um máximo em um valor determinado de velocidade de rotação (WYLEN; SONNTAG, 1993).

Dinamômetro é um tipo de equipamento capaz de medir a potência de um motor em suas diversas condições de funcionamento. É constituído por um volante circundado por uma cinta conectada a um braço cuja extremidade se apoia sobre a plataforma de uma balança. Esse volante, acionado pelo motor, tem o seu movimento restringido pela pressão aplicada à cinta, transmitindo esforço ao braço apoiado sobre a balança. A partir das leituras obtidas na balança, calcula-se o esforço despendido pelo motor. Tal dispositivo é conhecido como freio de Prony (CLÁUDIO, 2010).

Para medir o torque do motor, se imprime um torque para que possa freá-lo. Essa medida é efetuada pelo dinamômetro que usa um freio hidráulico, sendo determinada por:

$$C = F.S \quad (1)$$

- a) C = torque (N.m);
- b) F = força (N);
- c) S = comprimento do braço de alavanca (m).

3.1.2 Potência efetiva do motor

A bancada de testes fornece o valor do torque que possibilita executar o cálculo da potência efetiva do motor. Potência pode ser definida como o trabalho produzido na unidade de tempo. A potência desenvolvida por um torque é igual ao produto do torque pelo deslocamento angular na unidade de tempo (BOULANGER, 1978).

A potência efetiva do motor é a potência desenvolvida por um torque (valor fornecido pelo dinamômetro) e corresponde ao produto desse torque pelo deslocamento angular na unidade de tempo (BOULANGER, 1978):

$$P_e = C.N. \quad (2)$$

- a) P_e = potência efetiva (W);
- b) C = torque (N.m);
- c) N = rotação (rpm).

3.1.3 Consumo específico de combustível

Nos testes de motores, o consumo de combustível é medido como uma taxa de fluxo - fluxo de massa de combustível por unidade de tempo, \dot{m}_f . O sensor de fluxo, ou medidor de vazão são transdutores que monitoram a quantidade de líquido escoado em uma determinada seção, são utilizados para a medição do fluxo de líquidos e gases. Podem ser monitorados remotamente, existem diversos tipos que utilizam variados princípios físicos, com engrenagens e campo magnético ou ultrassônicos, gerando sinais em tempo real conforme a passagem de líquido. Um parâmetro mais útil é o consumo específico de combustível (sfc), definido como a taxa de fluxo de combustível por unidade de potência de saída e mede o quanto um motor é eficiente, usando o combustível fornecido para produzir trabalho, sendo calculado por:

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (3)$$

É fundamental observar que a energia fornecida ao motor por meio do combustível não é toda transformada em energia térmica na combustão, uma vez que o processo de combustão é incompleto. Quando existe uma quantidade adequada de ar, no interior do cilindro, para oxidar completamente o combustível, quase toda a energia do combustível (mais que 96%) é transferida ao fluido de trabalho como energia térmica. Quando existe uma quantidade insuficiente de ar para oxidar completamente o combustível, a escassez de oxigênio impede essa energia fornecida do combustível de ser completamente liberada (HEYWOOD, 1988). A relação entre o comburente e o combustível em um processo de combustão em um motor de combustão interna é chamada de relação ar combustível A/F. Essa razão é bastante útil para definir as condições de operação de um motor de combustão interna, sendo expressa da seguinte maneira:

$$A / F = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c} \quad (4)$$

O fator lambda (λ) é o parâmetro utilizado para quantificar o desvio quantitativo da mistura ar combustível admitida pelo motor da mistura estequiométrica, que é dita como mistura ideal, de forma que todo o combustível irá se combinar com o oxigênio admitido acarretando em uma queima completa, sendo o fator dado por.

$$\lambda = \frac{(A / F) \text{ real}}{(A / F) \text{ estequiométrico}} \quad (5)$$

Um fator lambda menor do que 1 significa que o motor está operando com mistura rica, ou seja com uma quantidade de combustível maior do que a quantidade necessária à formação de uma mistura estequiométrica. Por outro lado, se o fator lambda for maior que um, o motor opera com mistura pobre, isto é, com uma quantidade de combustível inferior à estequiométrica. Obviamente, que para um fator lambda igual a 1, obtém-se uma mistura estequiométrica (HEYWOOD, 1988).

3.2 Combustão e combustíveis

A combustão constitui-se de uma combinação química entre oxigênio do ar atmosférico com o carbono e o hidrogênio do combustível, acarretando em emissão de calor provocando a elevação da pressão. Durante a fase de expansão de um pistão, é quando varia o volume e se exerce o trabalho (BARGER et al., 1983).

Para que ocorra a queima, no interior das câmaras de combustão nos motores, de forma a atender a determinados requisitos básicos de funcionamento desse tipo de máquina, deve se preencher condições que começam com a quantidade de oxigênio disponível proporcionado pelo ar admitido para os cilindros e pelo combustível. A queima ocorre comumente por misturas de hidrocarbonetos, onde a proporção dada pela quantidade de ar e de combustível deve se encontrar dentro de certos limites e que se atinja a temperatura adequada de forma que a mistura de ar e combustível entre em ignição e prossiga em combustão, sendo que a velocidade que a combustão se propaga deve determinar os tempos de ocorrência do fenômeno, tendo compatibilidade com o intervalo de duração dos tempos do ciclo de funcionamento do motor (MIALHE, 1980).

A combustão no interior do cilindro do motor da mistura ar-combustível é um processo que influi de maneira direta na potência do motor, na eficiência e

também nas emissões. A injeção do combustível no interior do cilindro ocorre já com o ar em elevada temperatura e pressão, próximo do final do tempo de compressão. As misturas de combustíveis já injetadas e vaporizadas entrando em autoignição junto ao ar aquecido propicia o início do processo de combustão, que se distribui de forma rápida. A queima tem seguimento enquanto o combustível e o ar se misturam em uma proporção apropriada para a combustão acontecer (HEYWOOD, 1988).

A denominação combustível é atribuída a toda substância em que sua reação de oxidação é altamente exotérmica, ou seja, sua reação com o oxigênio gera altas temperaturas. Os combustíveis se apresentam na fase sólida, líquida ou gasosa, sendo caracterizados por suas características físico-químicas sendo divididos entre naturais ou artificiais. O petróleo e o carvão mineral exemplificam bem os combustíveis naturais. Entretanto, toda substância, que, combinando com outra, culmina em combustão, tem a denominação de comburente. Com isso, tem-se, então, que o oxigênio atua como comburente e não combustível (BARGER et al., 1983).

Os combustíveis levam também a nomeação de hidrocarbonetos, por serem constituídos de substâncias compostas por carbono (C) e hidrogênio (H). Mialhe (1980) divide os combustíveis em classes, de acordo com sua origem, como os vegetais, sendo eles a madeira, resíduos vegetais, carvão vegetal, metanol e outros, os minerais como o carvão mineral, petróleo e seus derivados, e por último os bioquímicos, sendo eles o álcool etílico, gás metano e biodiesel.

3.3 Biodiesel

Os óleos vegetais, em geral, são compostos em grande parte por moléculas de triacilglicerol (comumente chamados de triglicerídeos). Tais moléculas têm uma estrutura básica formada por um glicerol e três moléculas de

ácidos graxos, que têm tamanho e composição variáveis, de acordo com as características físico-químicas de cada planta em específico, proporcionando, assim, uma vasta gama de material para pesquisa e desenvolvimento de tecnologia na área de produção de biodiesel.

Os principais biocombustíveis líquidos usados no Brasil são o etanol proveniente da cana-de-açúcar e, em crescente escala, o biodiesel, produzido a partir de óleos vegetais, gorduras animais e também de óleos e gorduras residuais (OGR), sendo adicionado ao diesel mineral em proporções variáveis. Cerca de 45% da energia gerada e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil já são de fontes renováveis. Em escala mundial, 86% da energia vêm de fontes energéticas não renováveis. Pioneiro mundial no uso de combustíveis renováveis, o Brasil atingiu uma posição querida por muitos países que buscam fontes de energia renovável como alternativas estratégicas ao petróleo.

Biodiesel é um combustível biodegradável produzido a partir de fontes renováveis. Biocombustíveis, segundo a ANP, são provenientes de biomassa renovável podendo substituir, parcial ou totalmente, combustíveis provenientes de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia (BRASIL, 2005).

O biodiesel é um composto de ésteres de alquila de ácidos graxos, produzido a partir da reação de transesterificação de óleos vegetais e/ou gorduras animais com álcool, na presença de um catalisador que pode ser ácido ou básico. Os ésteres de alquila, quando provenientes da reação com álcool metílico ou etílico, que são os álcoois mais utilizados na produção de biodiesel são denominados de ésteres metílicos ou etílicos, respectivamente (GAMA; SAN GIL; LACHTER, 2010).

A composição dos óleos vegetais é de basicamente de triglicerídeos e ácidos graxos livres (AGL). A produção do biodiesel ocorre pela transesterificação, onde se reage ácido graxo com um álcool, na presença de um

catalisador (base). Os catalisadores alcalinos (NaOH e KOH) apresentam rendimentos melhores que os ácidos (COSTA NETO et al., 2000). No caso de matérias - primas com característica de gorduras, recomenda-se o uso de catalisadores ácidos. Também se recomenda o uso de álcool em excesso e a mínima quantidade possível de água no processo, fatores que diminuem o rendimento da reação. A presença de ácidos graxos livres deve ser detectada previamente por titulação ácido-base, para quantificar com maior proporção de catalisador a ser utilizado na reação.

O biodiesel pode ser produzido a partir de uma vasta gama de matérias-primas, incluindo os óleos vegetais (Soja, algodão, palma, canola, girassol e outros) que são os mais utilizados, gorduras animais e também os OGRs (óleos e gorduras residuais).

O uso de biodiesel apresenta algumas vantagens, quando comparado ao diesel de petróleo, com relação à comparabilidade entre os combustíveis. O biodiesel apresenta bom desempenho nos aspectos técnicos. Primeiramente, por ter origem em fontes renováveis de matéria-prima, com isso tem-se uma redução na dependência do petróleo, levando a preservar essa fonte finita, a biodegradabilidade e a menor emissão de gases na exaustão (com exceção dos óxidos de nitrogênio, NO_x), apresentando um ponto de fulgor mais alto, seu armazenamento e manuseio podem ser feitos com maior segurança. Outra característica importante é a ótima capacidade de lubrificação, sendo um fato de muita importância, em razão da diminuição do teor de enxofre do diesel de petróleo, o que levou a uma grande redução na lubricidade do mesmo. Com a mistura de biodiesel ao diesel de petróleo mesmo em baixos níveis (1 - 2%) restaura-se a lubricidade do combustível (KNOTHE; KRAHL; GERPEN, 2005).

Combustíveis de origem vegetal apresentam desempenho reconhecidamente satisfatórios, contudo, a potência de saída do motor se apresenta com uma ligeira diminuição nos seus valores, se comparado ao uso de

diesel produzido a partir do petróleo, no que se diz respeito a consumo, vem apresentando pequenos aumentos. Pode ser visto em muitas publicações que, nota-se que os motores ciclo diesel usados trabalham com mais suavidade com combustíveis vindos de óleos vegetais do que com diesel fóssil. Em decorrência das suas características de combustão, os óleos vegetais com uma alta quantidade de oxigênio foram sugeridos. Foi também sugerido que quando a quantidade de ácidos dos combustíveis de óleos vegetais é mantida em valores mínimos, resultados não adversos são verificados no equipamento de injeção e no motor (KNOTHE; KRAHL; GERPEN, 2005).

Entretanto, a viscosidade cinemática dos óleos vegetais é, aproximadamente, de uma ordem de magnitude maior que a do diesel combustível derivado do petróleo. A alta viscosidade causa uma pobre atomização do combustível na câmara de combustão do motor e resulta em problemas operacionais tais como depósitos no motor. Quatro soluções possíveis para o problema da alta viscosidade foram investigadas: transesterificação, pirólise, diluição com diesel combustível convencional derivado do petróleo e microemulsificação. A transesterificação é o método mais comum e produz os ésteres monoalquílicos de óleos vegetais e de gorduras, chamado de biodiesel quando usado para o propósito de combustível. Normalmente, o metanol é usado para a transesterificação porque em muitos países ele é o álcool mais barato (KNOTHE; KRAHL; GERPEN, 2005).

Um motivo relevante para que os óleos vegetais e as gorduras animais sejam transesterificados em ésteres alquílicos (biodiesel) é que esse processo faz com que a viscosidade cinemática do biodiesel torne-se muito próxima dos valores de viscosidade apresentados pelo diesel mineral.

O fato de que os óleos vegetais, as gorduras animais e seus derivados, tais como ésteres alquílicos são apropriados como diesel combustível demonstra que existe alguma similaridade em relação ao combustível diesel de petróleo ou

ao menos em alguns de seus componentes, sendo a propriedade do combustível que melhor demonstra essa adequação o chamado número de cetano.

Além da qualidade de ignição, como aquela expressa pela escala de cetano, muitas outras propriedades são importantes também para determinar a adequação do biodiesel como combustível. O calor de combustão, o ponto de orvalho, o ponto de névoa, a viscosidade cinemática, a estabilidade oxidativa e a lubrificidade são exemplos importantes dessas propriedades (KNOTHE; KRAHL; GERPEN, 2005).

3.4 Trajetória histórica do biodiesel

Rudolf Diesel desenvolveu, em 1895, o motor de ignição por compressão, levando sua criação à mostra mundial de Paris, em 1900, o combustível usado foi óleo de amendoim. Em 1911, afirmou que “*o motor diesel pode ser alimentado com óleos vegetais e ajudará consideravelmente o desenvolvimento da agricultura dos países que o usarão*”. O motor nominado de ciclo diesel, teve seu funcionamento inicial com óleo vegetal, no entanto na época o petróleo tinha seu valor muito baixo, acarretando no adiamento de pesquisas com o uso de óleo vegetal. A atual necessidade de diminuir a poluição ambiental deu um impulso importante. Mais especificamente União Europeia, Alemanha, Estados Unidos e o Brasil são os grandes mercados mundiais de Biodiesel. A Argentina, como grande produtora de oleaginosas também tem se destacado como uma importante produtora de biodiesel (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME, 2011).

Uma patente brasileira de fabricação de biodiesel, registrada a partir de estudos, pesquisas e testes desenvolvidos na Universidade Federal do Ceará, nos anos de 1970, tendo sido expirada, sem que o País adotasse e desenvolvesse a produção de biodiesel. Porém, a experiência não foi perdida e foi se

consolidando com o tempo. O Brasil conta com indústrias de biodiesel consolidadas, com mais de 50 usinas aptas a produzir e comercializar biodiesel, com uma capacidade instalada superior a 6 bilhões de litros do combustível por ano (MME, 2011).

De acordo com Lima (2004), o Brasil é considerado o paraíso para a produção de biomassa para fins alimentares, químicos e energéticos, em decorrência de sua imensa extensão territorial associada às excelentes condições edafo-climáticas. Nesse contexto, estudos divulgados pelo órgão encarregado da implementação do biodiesel nos Estados Unidos afirmam que o Brasil tem condições de liderar a produção mundial de biodiesel, sendo capaz de promover a substituição de, pelo menos, 60% do óleo diesel consumido no mundo. A demanda mundial por combustíveis de origem renovável vem subindo e o Brasil tem potencial para ser um grande exportador mundial.

O Programa Nacional de Óleos Vegetais do governo foi uma proposta de processar diversos óleos e/ou gorduras oriundos de atividades agrícolas e do setor extrativista, utilizando o processo de transesterificação. Além desta transesterificação, o programa teve como objetivo promover a substituição de até 30% do óleo diesel apoiado na produção de soja, amendoim, colza e girassol. Entretanto, nessa mesma época, houve a estabilização do preço do petróleo e a entrada do Proálcool. Outros fatores na produção do biodiesel desaceleraram o programa (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

Expedito José de Sá Parente, em 1983, patenteou o processo de transesterificação para a produção do biodiesel a partir de frutos ou sementes oleaginosas. O Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), mostra duas outras patentes para a produção do biodiesel, sendo uma de Nei Hansen de Almeida e outra pela Petrobras.

Em 2002, foi criado o Probiobiodiesel, nomeado pela Portaria MCT nº 702, que considerava a transesterificação etílica de óleos vegetais como a rota

principal para um programa de substituição do diesel de petróleo sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

Em 2003, iniciaram os primeiros estudos concretos para criar uma política do biodiesel no país e em 2004, o governo lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), Objetivando, inicialmente, a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, focando na inclusão social e desenvolvimento regional. O resultado fundamental dessa primeira fase foi a definição de uma estrutura legal e regulatória, com a edição de duas leis e diversos atos normativos. Dessa forma, o PNPB institucionalizou a base normativa para a produção e comercialização do biodiesel no Brasil, envolvendo a definição do modelo tributário para esse novo combustível e o desenvolvimento de mecanismos para inclusão da agricultura familiar, criando como incentivo o “Selo Combustível Social”. Os pilares de embasamento desse trabalho envolveram a política de inclusão social, o aproveitamento das oleaginosas de acordo com as diversidades regionais, a segurança de abastecimento para o novo combustível, a garantia de qualidade para o consumidor e a busca da competitividade frente ao diesel de petróleo (PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL - PNPB, 2011).

Atualmente, vigora a lei 13.263 de 23 de março de 2016, dispõe da obrigatoriedade de utilizar os 7% de diesel no biodiesel, a partir de março de 2017 a adição foi de 8%, em 2018 de 9%, em 2019 de 10%, podendo chegar a B15 nesse mesmo ano.

3.5 Vantagens no uso do biodiesel

Desde o processo do cultivo das oleaginosas até a fase final de utilização do biodiesel nos automóveis, são previstas incontáveis vantagens em todos os âmbitos da sociedade: social, econômico e ambiental.

A iniciar-se pela fase da obtenção das matérias-primas, as quais podem ser óleos e gorduras de origem vegetal ou animal, está imposta a valorização dos produtos de origem nacional, como, por exemplo, o cultivo de soja e a criação de bovinos, que representam a maior parte da matéria prima utilizada hoje no país para a produção do biodiesel segundo a ANP.

A valorização do trabalho do homem no campo também tem grande importância para o país, além de gerar renda e emprego para a parcela rural, incentiva a produção das oleaginosas sem que haja a necessidade de exportações. Muitas das oleaginosas são adaptáveis ao clima do Brasil e poderiam ser cultivadas em solos sem grande função agrícola, sem que haja a necessidade de utilizar terras agricultáveis, como é o caso de algumas oleaginosas de inverno, como níger, canola, crambe, girassol, entre outros.

Além disso, as oleaginosas podem ser facilmente cultivadas e transportadas às usinas de produção de biodiesel, sem demandar grandes e caras estruturas como as plataformas de petróleo ou até seus estudos geológicos para a sua identificação e localização das jazidas.

Durante o desenvolvimento vegetativo das culturas, ocorre a captura de dióxido de carbono convertendo-o em oxigênio. O biodiesel pode ser utilizado puro ou em misturas com óleo diesel derivado do petróleo, em diferentes proporções, o que leva também à redução da emissão de poluentes (SILVA; FREITAS, 2008).

Em relação ao aspecto econômico, o Ministério de Minas e Energia, cita que esse combustível renovável possibilita a economia de divisas com a

importação de petróleo e óleo diesel, além da geração de empregos em áreas geográficas menos atrativas para outras atividades econômicas, promovendo, assim, a inclusão social. A disponibilização de energia elétrica em comunidades isoladas, hoje de elevado custo em função dos preços do diesel, também deve ser incluída como forma de inclusão, que permite outras, como a inclusão digital, o acesso a bens, serviços, informação, à cidadania e assim por diante.

Como o uso de biocombustíveis em alternativa aos combustíveis fósseis geram uma redução na emissão de poluentes como os gases de efeito estufa, a qualidade do ar também é beneficiada. Melhorar as condições ambientais, sobretudo nos grandes centros metropolitanos, também significa evitar gastos dos governos e dos cidadãos no combate aos males da poluição (MME, 2011).

Por fim, uma das maiores, se não a maior, vantagem do uso do biodiesel, é o fato deste ser uma energia gerada a partir de fontes renováveis, o que não compromete a disponibilidade dos recursos naturais do planeta e pode ter sua produção estimada sem data para acabar.

3.6 Padrões de qualidade e inspeção veicular

Verocai (1991) define que a qualidade ambiental é o resultado dos processos dinâmicos e interativos dos elementos do sistema ambiental, podendo ser conceituada como o estado do meio ambiente, numa determinada área ou região, conforme é percebido, objetivamente, em função da medição da qualidade de alguns de seus componentes, ou mesmo, subjetivamente, em relação a determinados atributos, como a beleza, o conforto, o bem-estar.

Por meio de estudos e pesquisas podem ser estabelecidos critérios de qualidade ambiental para o sistema ambiental como um todo, ou para cada um de seus fatores, que servem de referência para as ações de gestão ambiental, notadamente o controle da degradação e da poluição e suas consequências.

Há fatores ambientais que não podem ser medidos objetivamente, o que significa certo grau de dificuldade e incoerência na definição de sua qualidade, sendo adotados critérios a partir da percepção da sociedade, como, por exemplo, a beleza de uma paisagem, o valor de uma espécie, o estágio cultural de uma comunidade, entre outros. Os fatores de referência da qualidade do ar podem ser medidos por meio de métodos científicos, em função de parâmetros e dos respectivos padrões de qualidade ambiental estabelecidos por normas legais ou por instituições de pesquisa. Para o estudo de certos componentes, antrópico se naturais, podem ser usados parâmetros indicadores de qualidade. Sob o aspecto legal, um dos níveis de referência utilizados é o padrão de qualidade do ar. O padrão de qualidade do ar é definido legalmente como o limite máximo para a concentração de um componente atmosférico, propiciando garantia de saúde e bem-estar da população. Os padrões de qualidade do ar são fundamentados em estudos científicos sobre os efeitos produzidos por poluentes específicos, sendo fixados em níveis que propiciam uma margem de segurança mais apropriada.

No Brasil, os padrões de qualidade do ar foram estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90 contemplando parâmetros como partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio e fumaça como podem ser vistos no Quadro 1. Os padrões estabelecidos são de dois tipos: primários e secundários. Os padrões primários de qualidade fazem referência, aos níveis de concentração de poluentes, que uma vez extrapoladas, poderão interferir de forma negativa na saúde da população. Já os padrões secundários dizem respeito às concentrações de poluentes atmosféricos, em níveis menores que os previstos para se ter o mínimo de efeitos negativos sobre o bem-estar humano, assim como causar o mínimo de danos à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Como previsto na Resolução CONAMA nº 03/90, a aplicação divergente dos padrões primários e secundários requer a divisão do território

nacional em classes, conforme o uso pretendido. A mesma Resolução prevê, ainda, que, enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões primários deverão ser contemplados. Estabelece, também, os critérios para episódios agudos de poluição do ar. Esses critérios são apresentados no Quadro 2.

Quadro 1 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA n° 3 de 28/06/90).

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO µg/m ³	PADRÃO SECUNDÁRIO µg/m ³	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas Totais em Suspensão	24 horas (1)	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA (2)	80	60	
Dióxido de Enxofre	24 horas	365	100	Pararosanilina
	MAA (3)	80	40	
Monóxido de Carbono	1 hora (1)	40.000	40.000	Infravermelho não dispersivo
	8 horas	35 ppm	35 ppm	
		10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quemiluminescencia
Fumaça	24 horas (1)	150	100	Refletância
	MAA (3)	60	40	
Partículas Inaláveis	24 horas (1)	150	150	Separação Inercial/Filtração
	MAA (3)	50	50	

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA 003/1990 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE -MMA, 2012).

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) Média geométrica anual.

(3) Média aritmética anual.

Quadro 2- Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar.

PARÂMETROS	NÍVEIS		
	ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA
Dióxido de Enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	800	1.600	2.100
Partículas Totais em Suspensão (PTS) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	375	625	875
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)x($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	65.000	261.000	393.000
Monóxido de Carbono (ppm) - 8 h	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h	400	800	1.000
Partículas Inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	250	420	500
< Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	250	420	500
Dióxido de Nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h	1.130	2.260	3.000

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA 003/1990 (MMA, 2012).

3.7 Matérias - primas de óleos vegetais para produção de biodiesel

O Brasil, com sua imensa extensão de territorial e também variações de clima e solos, tem a capacidade de produzir muitas espécies oleaginosas que, se industrializadas, podem originar os mais diversos tipos de farelos e óleos com características físicas, químicas e funcionais diferenciadas e, portanto, podendo ter aplicações distintas em muitas áreas.

Em se tratando de óleos vegetais para a produção de biodiesel existe um grande número de espécies vegetais no Brasil que podem ser trabalhadas, tais como a soja, algodão, mamona, dendê, girassol, cartamo, babaçu, amendoim, pinhão manso e muitas outras. O biodiesel pode ser produzido com o uso de qualquer óleo proveniente de qualquer semente, contudo produzir óleo não basta, a viabilidade econômica tem fundamental importância, pois um óleo que tenha uma produção baixa ou um alto valor comercial inviabiliza, totalmente, a produção de combustível a partir desse material. As fontes de óleo são muitas,

mas nem todas são boas, com isso geram os milhares de estudos sobre as plantas oleaginosas.

As matérias-primas mais usadas como fonte para a produção de biodiesel, são materiais aproveitados, ou seja, são coprodutos e também resíduos. O óleo de soja é um coproduto da produção de farelo proteico, uma parte do óleo vai para a alimentação humana e o excedente vai para produção de biodiesel, no caso do sebo bovino a matéria-prima é o resíduo de frigoríficos como abordado por Correa, Maziero e Storino (2011), no algodão temos uma planta cujo objetivo é produzir fibra, porém ela gera um coproduto (caroço), que vai dar origem a mais dois produtos o farelo proteico usado em alimentação de animais em geral, e o óleo que pode também ser usado em alimentação de animais como visto em Graeff e Tomazelli (2007) ou ser usado na produção de biodiesel.

Não há um consenso sobre qual seria a melhor matéria- prima para a produção de biodiesel, mas pode-se observar que disponibilidade, produção, viabilidade, teor e acidez de óleos e gorduras são aspectos fortes e importantes para levar a essa escolha.

3.7.1 Algodão como fonte de óleo para produção de biodiesel

O algodoeiro (*Gossypium sp.*), em especial o *G. hirsutum* L., é uma das principais espécies domesticadas pelo ser humano, dentre as mais de 230 mil espécies de plantas superiores, denominadas de espermatófitas. Dentre as espécies domesticadas, a única tida como trina em termos econômicos, sendo capaz de produzir fibra, que nos dias de hoje ainda veste quase metade da humanidade, óleo que se destina a alimentação humana e para produção de energia, e para o aproveitamento da torta na nutrição animal (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO - ABRAPA, 2017).

A cotonicultura é uma das principais atividades, destacando-se tanto na geração de renda, na ocupação de mão de obra e na geração de empregos em todo o mundo. No cenário atual brasileiro, o agronegócio do algodão movimentou um valor global de mais de 120 bilhões de reais. Anualmente, em todo mundo, são plantados mais de 33 milhões de hectares de algodão, sendo a maioria dessas áreas em regime de irrigação e com uma produção estimada em torno de 25 milhões de toneladas de pluma (ABRAPA, 2017).

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP (2016), o algodão é a terceira matéria-prima mais importante para a produção do biodiesel nacional, fica atrás apenas da soja e do resíduo animal. O óleo de algodão contribui com 5% dos dois bilhões de litros de óleo que o Brasil usa atualmente para a produção de biodiesel. A quantidade de óleo presente na semente de algodão é baixa em relação a outras culturas, com uma média de 14%, mas a Embrapa Algodão desenvolveu a cultivar BRS Arueira, em parceria com a Fundação Goiás, que tem 26% de óleo. Para cada litro de óleo, são necessários 12 quilos de algodão. Apesar do baixo percentual de óleo, a vantagem do algodão em relação às outras culturas é o preço. O custo da produção para a conversão em biodiesel é um dos mais baratos que existem, além de existirem pesquisas para se desenvolver mais variedades com alto teor oleico. A semente de algodão contém de 20% em média de óleo, sendo 47,8% de ácido linoleico, 23,4% de palmítico e 22,9% de oleico (LIMA et al., 2009).

A cadeia produtiva do algodão gerou na safra 2016/2017, um PIB de US\$ 74,11 bilhões, considerando as vendas de produtos de confecção (vestuário, meias e acessórios, linha lar e outros produtos de confecção) (ABRAPA, 2017).

A produção e a produtividade de algodão no Brasil, na safra de 2017/2018, a produção foi de 4470,6 mil toneladas e produtividade de 4056 kg/ha. Já, a produção de caroço na mesma safra foi de 2681,6 mil toneladas com produtividade de 2433kg/ha (COMPANHIA NACIONAL DE

ABASTECIMENTO - CONAB, 2018). Esses dados mostram o grande volume de caroço gerado pela produção de fibras de algodão. Em se tratando de um coproduto tem-se um grande volume que poderá gerar muitos problemas ambientais, no entanto, quando se aproveita esse coproduto como fonte para produção de óleo e farelo proteico de alta qualidade, tem-se uma nobre utilização para um produto que poderia gerar vários problemas. Considerando o teor médio de óleo do caroço de algodão de 18%, teoricamente pode-se dizer que seria possível a produção de 475,2 mil toneladas de óleo de algodão que poderiam ser destinados para a indústria de biodiesel.

3.8 Processo de produção do biodiesel

A primeira etapa é a de prensagem do grão oleaginoso para a obtenção do óleo, que, em sequência, passa por um processo de purificação que consiste em três etapas, sendo elas a filtragem, degomagem e a clarificação, obtendo-se tem o óleo pronto para seguir no processo de transesterificação e posterior purificação do biodiesel.

A filtragem é um processo rápido onde o óleo passa sob pressão por entre elementos filtrantes de um filtro prensa, deixando toda a parte sólida restante do processo de extração do óleo presa no filtro.

A degomagem consiste basicamente em remover os fosfolipídios presentes no óleo, processo esse que além de diminuir a viscosidade do óleo, melhora sua fluidez, produz como subproduto os fosfatídios que, comercialmente, são chamados de lecitina, de amplo uso como emulsificante (LÜDTKE, 2016). Um óleo purificado de alta qualidade deve ter retirado o máximo possível de fosfolipídios (CALHEIROS, 2007).

A clarificação tem função de retirar impurezas, partículas em suspensão e pigmentos. No caso do algodão, irá retirar a grande concentração de pigmentos

de cor vermelha, deixando o óleo com aparência límpida e translúcida. Consiste em adicionar argila e carvão ativado, para adsorver as substâncias a serem retiradas nesse processo.

Uma das vias de produção do biodiesel é pela utilização do processo de transesterificação (STIDHAM; SEAMAN; DANZER, 2000). Consistindo em reagir o óleo com um álcool de cadeia curta e um catalizador para a formação de um éster alquílico.

Ao fim da transesterificação, é necessário fazer a purificação do biodiesel produzido, que consiste na remoção dos excessos de glicerol formados, álcool e demais elementos (água, sedimentos e odores) e também a neutralização dos catalisadores.

Embora as maiores quantidades de álcool e de catalisador permaneçam no glicerol, o álcool que foi adicionado em excesso na transesterificação deve ser removido, por meio de evaporação a vácuo. Após o processo de neutralização dos catalisadores, o biodiesel é submetido a um processo de purificação que consiste na lavagem aquosa do mesmo e, posteriormente, uma secagem para a retirada da água (KNOTHE; VAN GERPEN; KRAHL, 2006).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização, produção e testes dinamométricos foram conduzidos no Laboratório de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel da Universidade Federal de Lavras - MG, que fica situada no Município de Lavras, Estado de Minas Gerais, Brasil, a uma altitude de 919 m, latitude 21° 14' S e longitude 45° W, durante o ano de 2017. Foram utilizadas como matéria- prima na extração de óleo para a produção do biodiesel, sementes de algodão com línter da variedade DP 1536 B2RF, produzidas na safra 2016/2017, fornecidas pela Cooperativa de Produtores Rurais de Catuti, localizada na cidade de Catuti, região norte do estado de Minas Gerais.

4.1 Caracterização física

A caracterização física do lote de sementes foi avaliada antes do processo de extração de óleo, sendo analisados, primeiramente, o peso de mil sementes e o peso hectolítrico determinados conforme metodologia descrita pela RAS - Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Em sequência, analisou-se o percentual de línter, sendo separadas quatro amostras de dez sementes, que foram pesadas em balança com uso de duas casas decimais. As sementes foram raspadas com o auxílio de uma lâmina para a retirada manual do línter e pesadas novamente. Após, pela diferença de peso antes e depois da retirada do línter, foi calculada a percentagem de línter do lote de sementes.

4.1.1 Teor de óleo

Para a determinação da quantidade de óleo por unidade de massa de semente, foi realizada a extração química, uma vez que esse método proporciona remoção de praticamente todo o óleo contido na amostra.

Para essa análise, as sementes foram moídas e colocadas em papel filtro, tendo a sua massa determinada com e sem a amostra. Posteriormente à extração, as sementes moídas foram pesadas de novo em balança analítica, e para o cálculo do teor de óleo de cada oleaginosa foi usada a seguinte equação:

$$Teor = (1 - (m_3 - m_1) \times 100\%) / m_2 \quad (6)$$

Sendo que:

- a) m_1 : massa do papel filtro sem amostra
- b) m_2 : massa da amostra
- c) m_3 : massa do papel filtro mais a amostra sem óleo

4.2 Extração do óleo

A extração do óleo foi feita mecanicamente em extratora de óleos do tipo expeller (FIGURA 1), realizada em uma passagem, sendo uma amostra do óleo encaminhado diretamente para o laboratório de análise química. Em razão das impurezas inerentes ao método de extração como parte da torta, o óleo foi filtrado em filtro prensa, posteriormente armazenado em um refrigerador, para conservar as características do óleo. As seguintes propriedades físico-químicas foram determinadas para caracterizar a matéria-prima: densidade e índices de acidez, iodo, refração, peróxido, saponificação. Sendo todas as análises

realizadas pelo método AOCS Cd 3d-63, recomendado pela AOCS (AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY - AOCS, 1990).

Figura 1 - Prensa extratora tipo expeller extraindo óleo de algodão.



Fonte: Do autor (2017).

4.3 Degomagem

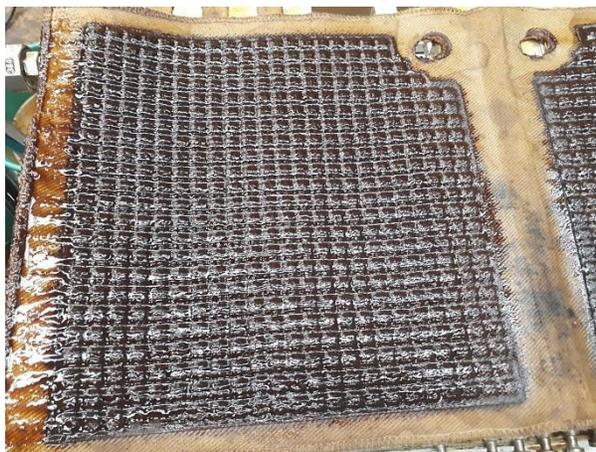
A degomagem foi feita em um reator fechado e encamisado, começando pela medição do volume de óleo e posterior adição do mesmo ao reator, adicionando-se 5% (V/V) de água fervente no reator, permanecendo em agitação por 2 horas à temperatura ambiente (25°C), de acordo com a metodologia de Thengumpillil, Ongole e Potula (2004). Após o término do processo, o óleo foi submetido à filtragem em filtro prensa (FIGURA 2) para retirada do material rico em fosfolipídios (FIGURA 3).

Figura 2 - Filtro prensa utilizado na degomagem.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 3 - Elemento filtrante do filtro prensa com borra da degomagem.



Fonte: Do autor (2017).

4.4 Clarificação

A clarificação foi feita em reator fechado e encamisado, começando pela medição do volume de óleo e posterior adição do mesmo ao reator, adicionando-se 3% (m/V) de uma mistura de argila caulínica de 325 mesh obtida na cidade de Ijaci-MG, com carvão ativado na proporção 20:1. O sistema foi aquecido a 85°C, permanecendo em constante agitação de 600rpm por 30 minutos. Após o término do processo, o óleo passou por uma centrifuga decanter a 5500rpm por cinco minutos para a retirada do material como sugerido pela AOCS (1990).

4.5 Produção do biodiesel

A produção do biodiesel neste trabalho foi feita via transesterificação, devida a baixa acidez do óleo de algodão, passando por posterior purificação para atingir os padrões de qualidade determinados pela ANP.

4.5.1 Transesterificação

O método utilizado para produção do biodiesel foi o de transesterificação como visto em Stidham, Seaman e Danzer (2000). Em um reator encamisado com capacidade total de 60 L foi adicionado o óleo de algodão. O óleo, então, foi aquecido a 50° C, sendo agitado por 10 min. Adicionando o metanol e também a quantidade de hidróxido de potássio calculada anteriormente para catalisar a esterificação e aquecendo-o até estar a uma temperatura de 50° C como em Ferrari, Oliveira e Scabio (2005). Agitou-se por 40 min a uma rotação de 500 rpm e a solução foi transferida para um tanque decantador. Após a decantação, obteve-se a glicerina e o biodiesel, que foram separados por decantação, após a separação da glicerina, o biodiesel continuou

no reator e deu-se início ao processo de purificação para a retirada de resíduos de catalisador, processo executado como apresentado por Knothe, Van Gerpen e Krahl (2006).

4.5.2 Purificação do biodiesel

Após a obtenção das amostras de biodiesel, passou-se para a etapa de purificação dos mesmos, por meio de lavagem para retirada do excesso de catalisador (KOH) como em Van Gerpen et al. (1997). Para o processo de lavagem, foi aquecida a água destilada até ferver. Adiciona-se na água fervida 1 L de ácido clorídrico 0,5mol/L e com o uso de um tanque lavador de biodiesel, essa solução foi sendo adicionada aos poucos sobre o biodiesel, até a mesma proporção em movimentos de rotação. Esperou-se decantar e retirou-se a parte inferior (água). Repetiu-se o procedimento novamente até a água ficar incolor com a adição da fenolftaleína, indicando a ausência do catalisador no biodiesel. Após a purificação, o biodiesel é seco em um reator encamisado e com uso de vácuo e ficou pronto para o uso (FIGURA 4).

Figura 4 - Biodiesel de algodão.



Fonte: Do autor (2017).

4.6 Testes de desempenho

Foram utilizadas misturas de diesel comercial e biodiesel tomado como referência com biodiesel de óleo de algodão em diferentes proporções, assim descritas: diesel mineral comercial B8 (contendo uma mistura de 8% de biodiesel não especificado), (B8 +B20),(B8+B50), (B8+B80) e B100, sendo as mesmas equivalentes, respectivamente, 80% de diesel B8 e 20% de biodiesel de óleo de algodão, 50% de diesel B8 e 50% de biodiesel de óleo de algodão, 20% de diesel B8 e 80% de biodiesel de óleo de algodão e 100% de biodiesel de óleo de algodão.

A metodologia utilizada na realização dos ensaios do motor, foi a indicada pela norma NBR ISO 1585 (antiga ABNT NBR 5484) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1996), em vigência desde junho de 1996.

Os ensaios foram conduzidos, utilizando-se um motor modelo AGCO Sisu Power 420DS, combustível diesel ou biodiesel puros ou em misturas, potência máxima de 90 cv (66,2 kW) a 2200 rpm (norma ISO 1585), torque máximo de 330 Nm a 1400 rpm (norma ISO 1585), cilindrada total de 4400 cm³, 4 cilindros, turbo aspirado, sistema de injeção com bomba rotativa, injeção direta de um trator marca Valtra modelo A950¹ (FIGURA 5).

A tomada de potência do trator é independente, com acionamento mecânico, velocidade rpm do motor - rpm da TDP de 540 rpm - 1890 rpm, Econômica 540 - 1594, 1000 - 274, potência máxima (cv) - rotação do motor 82 cv - 2200 rpm.

O dinamômetro marca AW Dynamometer, modelo NEB 200 (FIGURA 6), foi acoplado ao trator pela tomada de potência traseira, equipamento no qual

1 A citação de quaisquer marcas e/ou modelos de produtos neste trabalho, não representa a indicação do autor em detrimento de outras marcas e/ou modelos existentes no mercado.

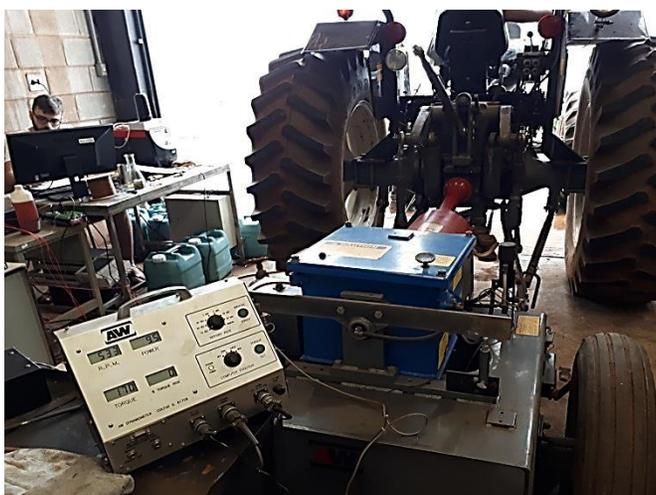
há a transformação da energia mecânica em calor, por meio da utilização de um freio hidráulico, sendo o calor gerado nesse freio dissipado pela passagem de água de arrefecimento.

Figura 5 - Trator Valtra A950.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 6 - Dinamômetro AW Dynamometer NEB 200 acoplado ao trator.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 7 - Painel de comando do dinamômetro.



Fonte: Do autor (2017).

4.6.1 Determinação do consumo de combustível

Para a determinação do consumo de combustível, o sensor de fluxo Oval M-III LDF40 (FIGURA 8) foi o modelo utilizado para este trabalho, o qual é composto por um corpo de aço inoxidável, alumínio e os rotores de aço inoxidável e resina especial. Nele a medição da vazão é feita pela passagem de líquido em dois rotores ovais e um sensor magnético, possui uma faixa de utilização temperatura ambiente de -20°C a 80°C , vazão máxima de 500 L/h (litros por hora), erro de $\pm 1\%$, pulso de saída de 6.4Vcc a 7.4Vcc, e alimentação de 12Vcc a 24Vcc. É composto por três fios, um verde gerador de pulso, um vermelho para a alimentação e um preto ligado a referência ou terra (OVAL, 2006). Funciona gerando pulsos quando uma certa quantidade de líquido passa por suas turbinas, assim mandando um sinal para o Datalogger, com isso a programação do sensor é fácil e pode ser ajustada e parametrizada dependendo do líquido.

Figura 8 - Fluxômetro Oval M-III LDF40.



Fonte: Do autor (2017).

Com um Sistema de Coletas de Dados Datalogger modelo CR1000 da Campbell SCI, com o desenvolvimento de um software específico, foi possível adquirir todos os dados em 2Hz (a cada 0,5s) e esses dados foram transferidos a um microcomputador por interface RS-232-C, para a obtenção das curvas de torque, potência, consumo e emissão de gases em função da rotação aplicada.

Um software supervisor trabalhou em conjunto com o Sistema de Coletas de Dados, sendo o mesmo responsável por coletar todas as informações do sensor e armazená-las em um banco de dados.

Paralelo ao sistema de coleta de dados de consumo de combustível, foram executadas medições do consumo pelo método da proveta, medindo-se o volume consumido em função do tempo de funcionamento do motor para dado regime. A partir da quantidade de combustível consumida e do tempo de cada ensaio, foi feito cálculo do consumo em litros por hora.

Quando foram feitas trocas de combustíveis, o motor permaneceu ligado sem que fosse feita leitura de nenhum dos parâmetros por 1 minuto com o intuito de consumir todo o combustível do teste anterior e para que o motor começasse a consumir a nova mistura, antes de se começar a computar os dados referentes a ela.

4.6.2 Determinação dos gases emitidos

Os ensaios relacionados às emissões foram realizados com base na norma NBR 14489 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2000) - Motor Diesel - Análise e Determinação dos Gases e do Material Particulado Emitidos por Motores do Ciclo Diesel - Ciclo de 13 pontos. O analisador de gases Discovery G4 - ALFATEST foi utilizado para a análise e determinação das emissões do motor ao utilizar os diferentes combustíveis. O equipamento foi conectado a um computador onde estava instalado um software específico do aparelho que proporcionou a opção de salvar um relatório de teste ou apenas visualizar em tela ao longo do teste (FIGURA 9).

O ensaio foi executado com o dinamômetro acoplado ao trator pela TDP, determinando-se, primeiramente, o torque do motor à plena carga nas rotações descritas na norma. Durante o ciclo de 13 pontos, as emissões (CO, CO₂ e HC) foram determinadas simultaneamente, estando o motor em regime de trabalho constante. Com a função de reduzir a possibilidade de entupimento dos sensores pelo material particulado emitido pelo motor, foi acoplado ao final do escapamento um filtro de ar MANN-FILTER modelo CF 400/1.

Para melhor entendimento, foi apresentado, no quadro 3, a sequência de regulagens e leituras que foram feitas durante o teste, sendo 13 ciclos de 6 minutos cada, com a duração total de 1 hora e 18 minutos para cada combustível avaliado.

Figura 9 - Tela de leitura dos dados do analisador de gases.



Fonte: Do autor (2017).

Quadro 3 - Sequência de aceleração e carga para o teste de análise de gases.

(Continua)

Ciclo	Rotação	Carga Percentual do torque máximo	Rotação na TDP (rpm)	Rotação equivalente no motor (rpm)	Tempo contínuo (min)
1	Marcha lenta	0%	228	800	6
2	Intermediária	10%	324	1134	12
3	Intermediária	25%	324	1134	18
4	Intermediária	50%	324	1134	24
5	Intermediária	75%	324	1134	30
6	Intermediária	100%	324	1134	36
7	Marcha lenta	0%	228	800	42

Quadro 3 - Sequência de aceleração e carga para o teste de análise de gases.

(Conclusão)

Ciclo	Rotação	Carga Percentual do torque máximo	Rotação na TDP (rpm)	Rotação equivalente no motor (rpm)	Tempo contínuo (min)
8	Nominal	100%	540	1890	48
9	Nominal	75%	540	1890	54
10	Nominal	50%	540	1890	60
11	Nominal	25%	540	1890	66
12	Nominal	10%	540	1890	72
13	Marcha lenta	0%	540	800	78

Fonte: Do autor (2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises do caroço de algodão

O caroço de algodão passou por análises físicas e de teor de óleo para determinação da qualidade do material utilizado na produção do óleo.

5.1.1 Caracterização física

As sementes de algodão, variedade DP 1536 B2RF, utilizadas no trabalho foram caracterizadas fisicamente antes do procedimento de deslintamento, conforme resultados expressos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da caracterização física das sementes antes do processo de deslintamento.

Percentual de línter	Peso médio de 1000 sementes	Peso hectolítrico
21,04%	82,85g	0,215 kg/hL

Fonte: Do autor (2017).

Na análise do peso médio de mil sementes, o resultado foi de 82,85g. Cocco (2012) encontrou resultado de 94,60 g quando analisou sementes deslintadas. Essa diferença se dá, em decorrência do volume ocupado pelo línter que tem muitos espaços vazios, deixando o material volumoso e abaixando seu peso hectolítrico. A característica do material volumoso ainda com fibras reduz o desempenho das máquinas no processo de extração de óleo, pois diminui, consideravelmente, o fluxo do material dentro da máquina, deixando o trabalho mais lento e oneroso.

O resultado do peso hectolítrico permitiu planejar ações para o armazenamento e processamento do caroço. Segundo a RAS (BRASIL, 2009), o peso hectolítrico é uma característica varietal influenciada por vários fatores, dentre eles, o clima, adubação beneficiamento e tratamento químico da semente.

5.1.2 Teor de óleo

O teor de óleo expresso em porcentagem pode ser observado na tabela 2 e discutido relacionando seus valores com os valores já apresentados de porcentagem de línter. A extração mecânica foi feita por prensagem do material entre o helicóide e o cesto da máquina, o que propiciou uma menor eficiência de extração, se relacionado com a extração química com o uso de solvente orgânico, pois na torta que é produzida no momento da extração fica aderida uma parte do óleo. No caso em questão, o caroço de algodão utilizado para a extração de óleo ainda tinha 21,04% de seu peso em línter, o que propiciou a queda na eficiência, em razão da aderência do óleo nas fibras do línter, entre outras perdas provenientes do processo mecânico. Além disso, no processo de extração química, o caroço é triturado e transformado em farelo, o que aumenta, substancialmente, a superfície de contato com o solvente, aumentando a quantidade de óleo extraído. No entanto, a extração química não retira somente óleos, mas também alguns compostos apolares presentes no material, como alguns pigmentos, fosfolipídios e outros, o que acarreta um leve aumento na porcentagem extraída com pode ser visto em Ramalho e Suarez (2013).

Tabela 2 - Teor de óleo do caroço de algodão em função do tipo de extração.

Teor de óleo do caroço	
Extração mecânica	Extração química
9,4%	18,1%

Fonte: Do autor (2017).

No trabalho de Gondim-Thomaz et al. (2016), foram encontrados teores de óleo de 24 a 27% em diferentes cultivares e linhagens de algodão. Diante das características de cada processo de extração de óleos, é possível entender a diferença de valores observada em cada um, sendo na extração mecânica o teor de óleo de 9,4% e na extração química do caroço o teor de 18,1%, como sendo a grande diferença nos teores influência de algum fator ligado à extração mecânica, pois como já visto o percentual de línter no caroço foi de 21,04 o que fez com que o material retivesse óleo nas fibras. Sendo assim, tem-se que nos 8,7% que existem de diferença entre a extração mecânica e a extração química, boa parte ficou aderida na torta e teve esse valor elevado pela alta proporção de línter envolvendo o caroço e uma pequena parte pode ter sido perdida de alguma forma no processo mecânico.

5.2 Testes dinamométricos

Os resultados dos testes dinamométricos estão representados pelos seus valores médios no quadro 4 que podem ser vistos os resultados de torque e potência na TDP, consumo mensurado pelo método volumétrico e por fluxômetro, resultados esses expressos para cada mistura de combustível usada.

Quadro 4 - Valores médios para as variáveis analisadas no ensaio dinamométricos em cada mistura de combustível utilizada.

(Continua)

Mistura de biodiesel	RPM TDP	Torque N.m	Potência kW	Consumo proveta L/h	Consumo fluxômetro L/h	Consumo específico
S10	228	541	13,0	4,2	4,8	3,09
	324	649	22,1	4,6	6,0	4,80
	540	622	35,6	11,2	10,8	3,17
	628	427	27,2	13,4	13,2	2,03

Quadro 4 - Valores médios para as variáveis analisadas no ensaio dinâmométricos em cada mistura de combustível utilizada.

(Continuação)

Mistura de biodiesel	RPM TDP	Torque N.m	Potência kW	Consumo proveta L/h	Consumo fluxômetro L/h	Consumo específico
B2	228	357	6,6	2,8	3,6	2,36
	324	618	20,9	6,4	8,4	3,27
	540	467	24,9	8,4	9,6	2,96
	628	595	32,8	12,6	13,2	2,60
B6	228	162	3,9	2,6	4,8	1,50
	324	424	14,5	4,6	5,7	3,14
	540	720	40,3	12,8	10,0	3,15
	628	489	32,1	13,4	14,4	2,39
B12	228	387	9,2	3	3,6	3,07
	324	790	29,6	8,4	9,6	3,52
	540	488	27,4	9,6	12,0	2,85
	628	543	35	12	14,4	2,92
B20	228	403	9,7	3	6,0	3,24
	324	870	29,4	6,8	10,8	4,32
	540	742	42,1	11,8	14,4	3,57
	628	913	60,8	17,6	21,6	3,45
B24	228	823	19,8	5,2	7,2	3,80
	324	947	32,7	9,2	10,8	3,55
	540	818	46,1	11,6	12,0	3,97
	628	806	53,3	18	19,2	2,96
B50	228	569	13,6	4	7,2	3,40
	324	851	28,8	8,4	9,6	3,42
	540	649	36,8	11,2	12,0	3,29
	628	874	59,7	19,6	21,6	3,05
B80	228	490	11,7	3,6	4,8	3,24
	324	967	32,7	9,6	10,8	3,41
	540	594	33,6	11,2	13,2	3,00
	628	738	52,4	18	19,2	2,91

Quadro 4 - Valores médios para as variáveis analisadas no ensaio dinamométricos em cada mistura de combustível utilizada.

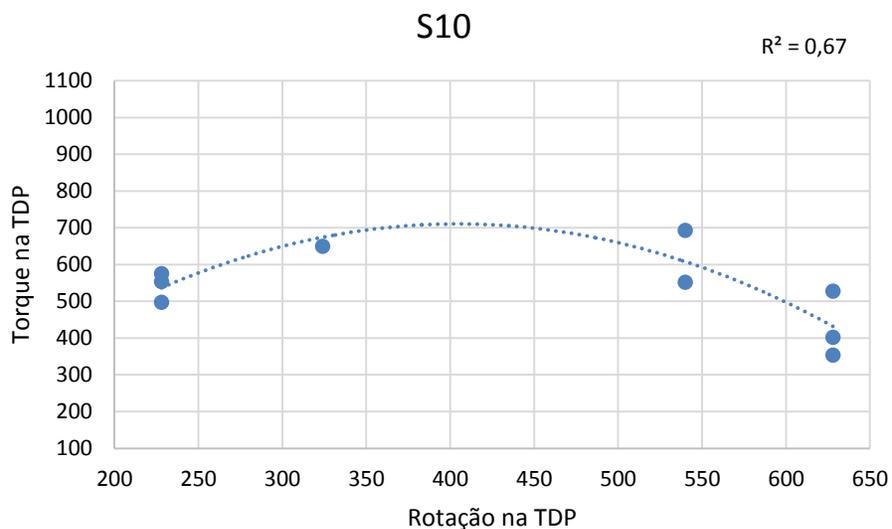
(Conclusão)

Mistura de biodiesel	RPM TDP	Torque N.m	Potência kW	Consumo proveta L/h	Consumo fluxômetro L/h	Consumo específico
B100	228	492	11,8	3,8	4,8	3,10
	324	930	31,3	9,6	10,8	3,26
	540	609	34,2	11,2	13,2	3,05
	628	792	53,4	18,8	13,8	2,84

Fonte: Do autor (2017).

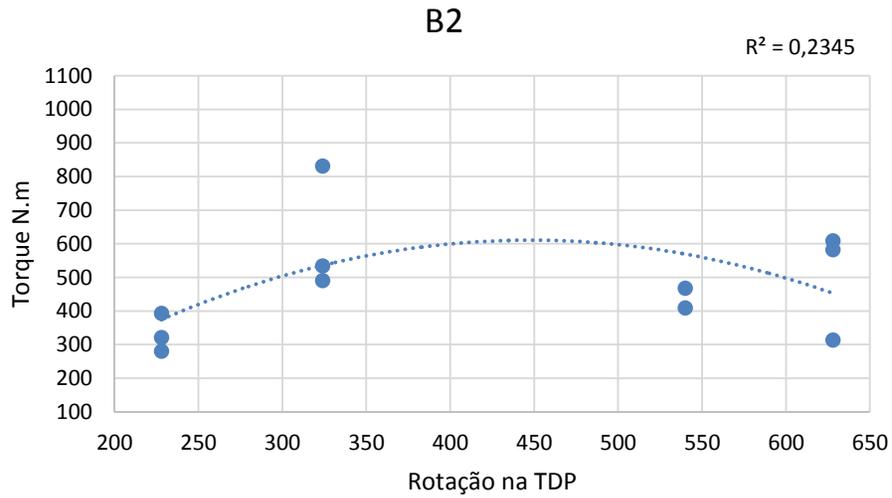
Para melhor visualização dos dados apresentados no quadro 4, foram elaborados gráficos com as curvas de torque para cada mistura de combustível utilizada, com o intuito de melhorar o entendimento do comportamento do torque em cada mistura, relacionando com a rotação da tomada de potência.

Gráfico 1 - Torque na TDP com diesel S10 comercial.



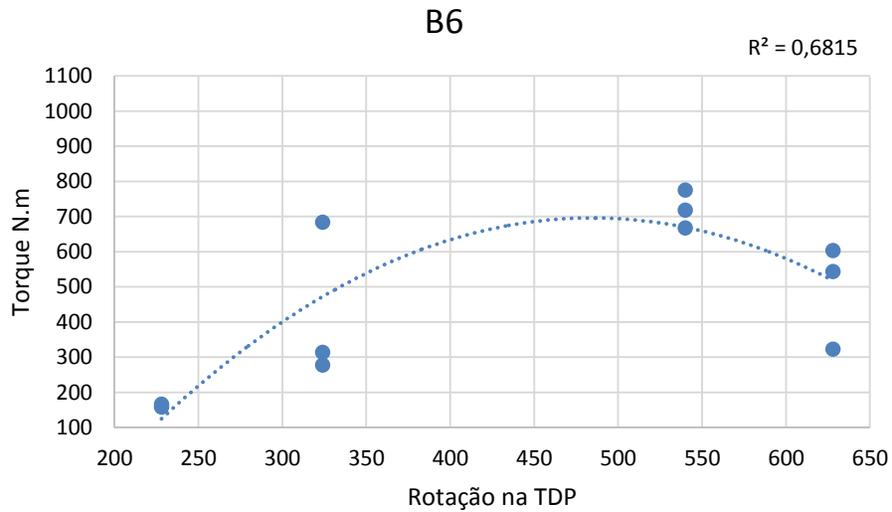
Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 2 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B2).



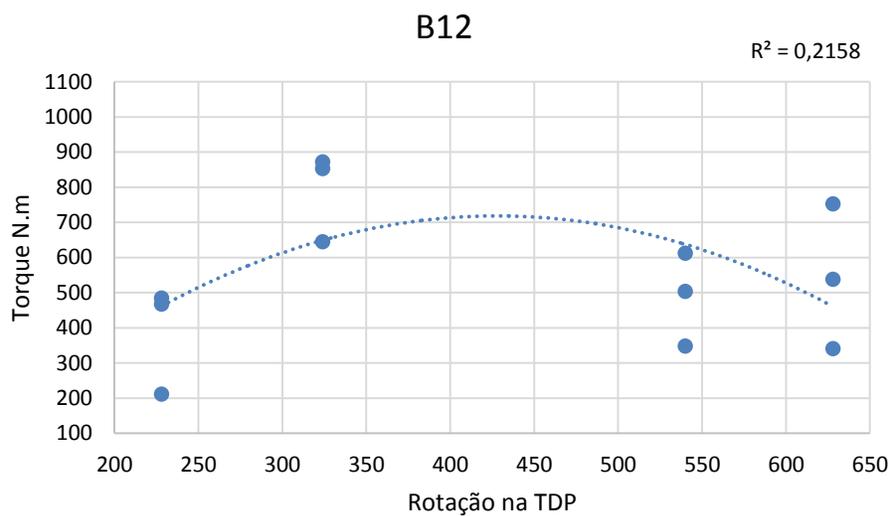
Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 3 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B6).



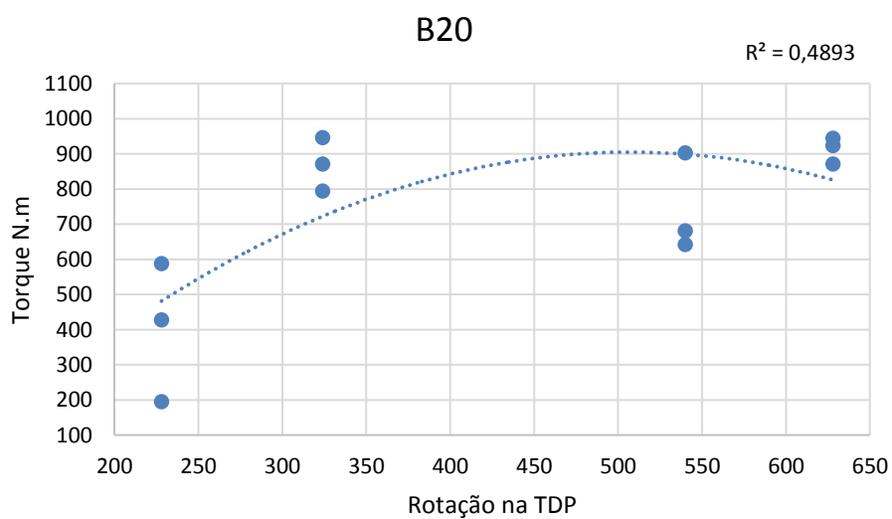
Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 4 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B12).



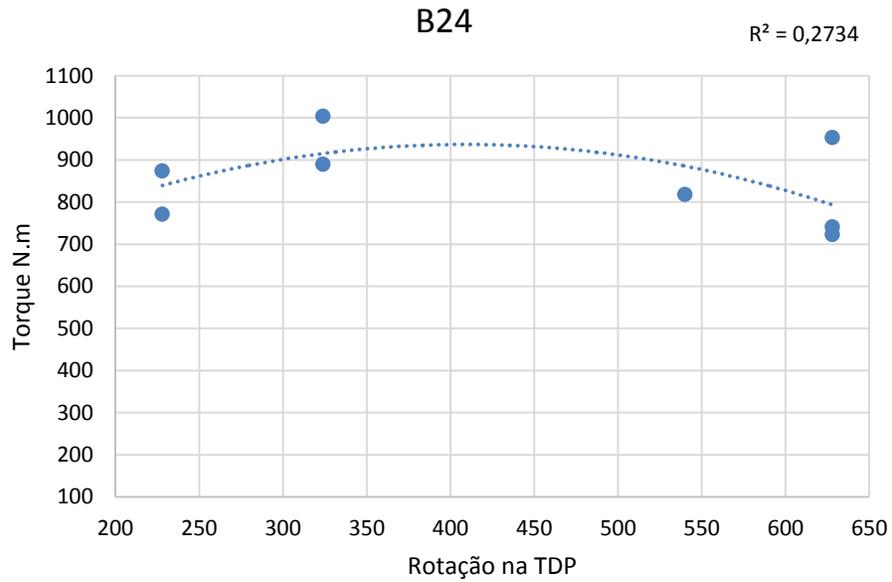
Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 5 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B20).



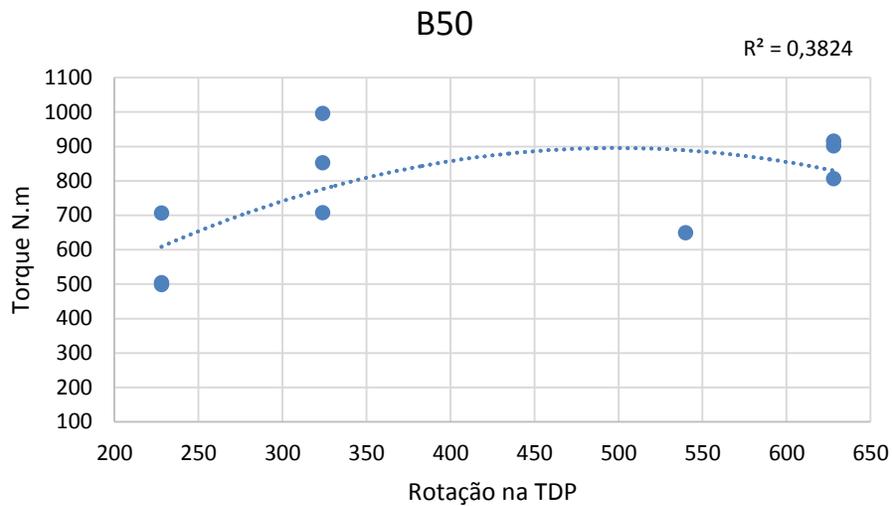
Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 6 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B24).



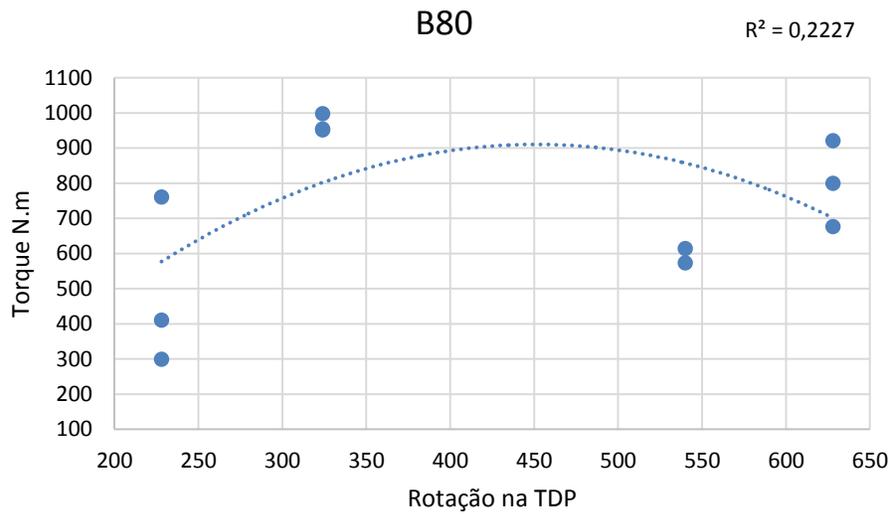
Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 7 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B50).



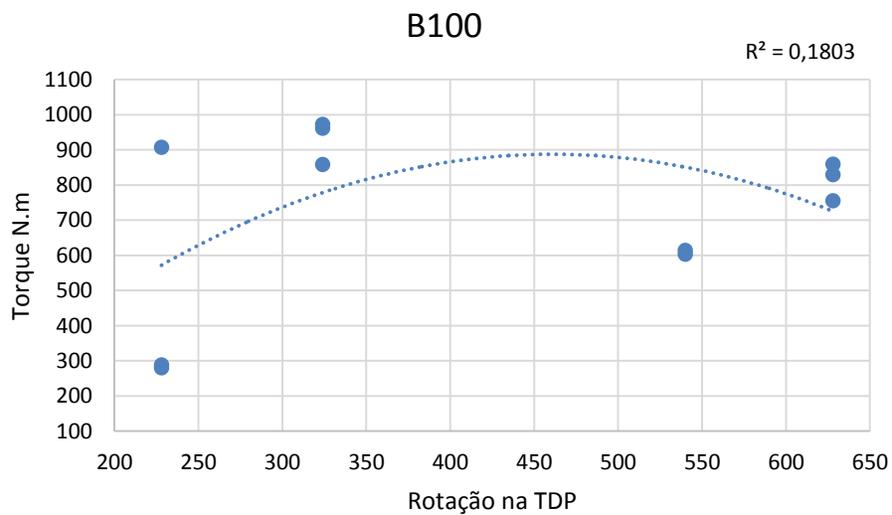
Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 8 - Torque na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B80).



Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 9 - Curva de torque na TDP com biodiesel B100.

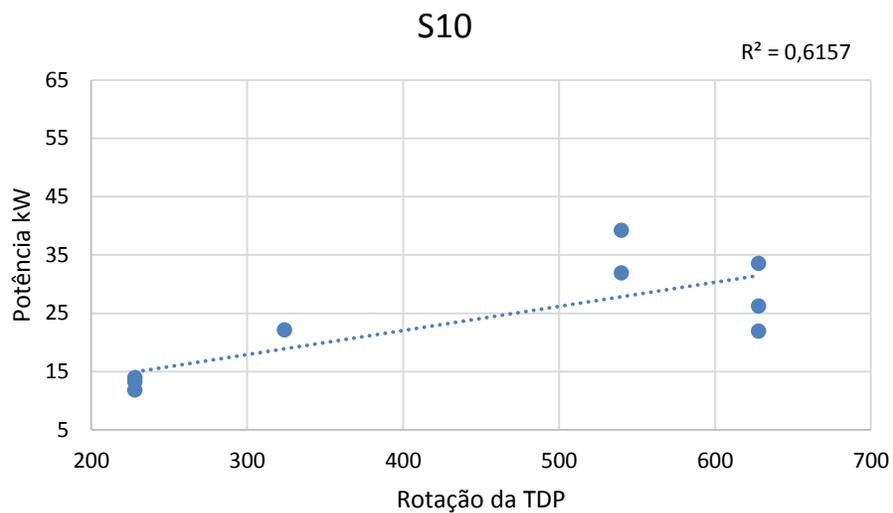


Fonte: Do autor (2017).

Analisando o quadro 4, pode-se observar que o torque na rotação nominal (540rpm) da tomada de potência foi maior, utilizando-se o biodiesel B24. Quando utilizado o combustível B100 de óleo de algodão, houve um decréscimo de 2,09%, se comparado com o diesel comercial S10. No entanto, quando se compara a mistura de combustível B24, que é 24% de biodiesel de óleo de algodão e 76% de diesel S10, o B24 apresentou um acréscimo de 31,5% de torque, se comparado com o diesel S10 comercial. Ainda na rotação nominal de trabalho, comparando o biodiesel puro B100, tem-se que houve um decréscimo de 25,55% de torque em relação ao biodiesel B24.

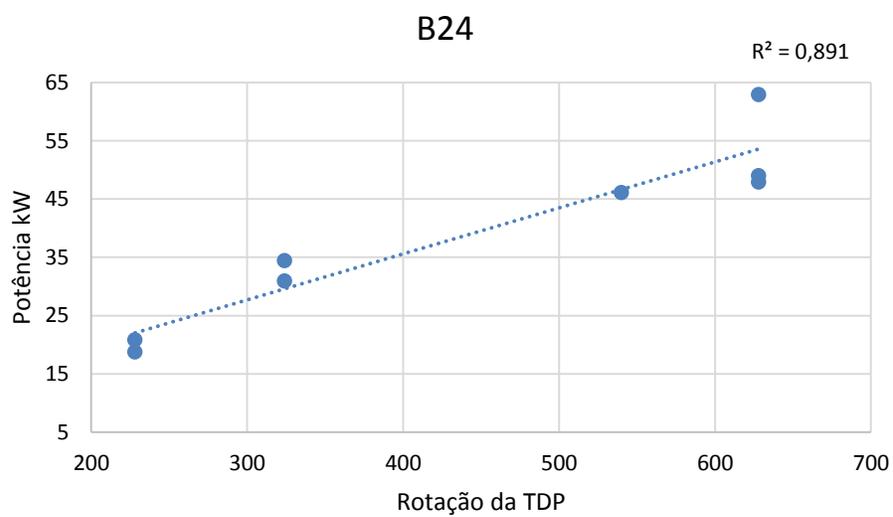
As curvas de torque que puderam ser observadas e analisadas do gráfico 1 ao 9 apresentaram comportamento padrão. O torque tem a tendência de subir até próximo da rotação nominal e depois tende a diminuir. Segundo Castellaneli et al. (2008), esse comportamento se dá em razão da deficiência em suprir combustível em altas rotações, que ocorre por causa da defasagem de tempo da bomba injetora até a ponta dos bicos injetores, que têm como influenciador a viscosidade que, neste trabalho, todas as misturas e também o biodiesel puro estão de acordo com o padrão ASTM D6751 que determina um máximo de $0,88\text{mm}^2/\text{s}$.

Gráfico 10 - Curva de potência na TDP para o diesel S10.



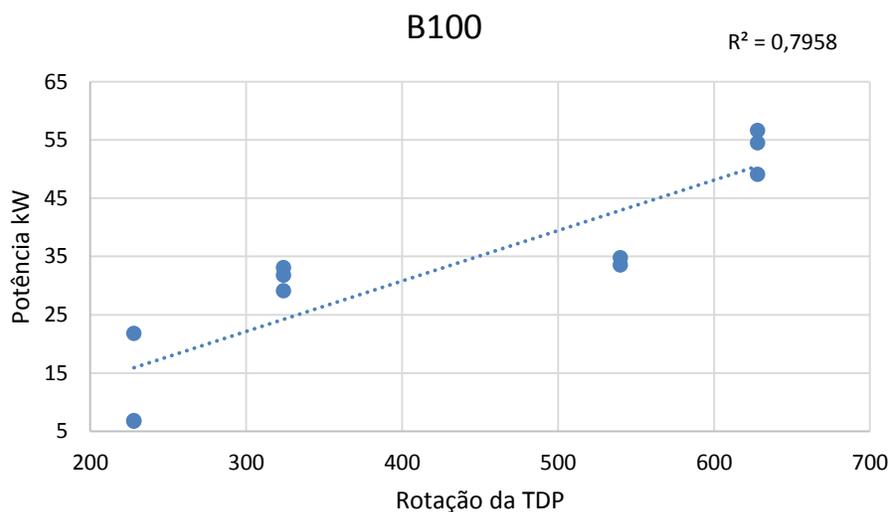
Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 11 - Curva de potência na TDP com mistura de biodiesel/diesel (B8+B24).



Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 12 - Curva de potência na TDP com biodiesel B100.

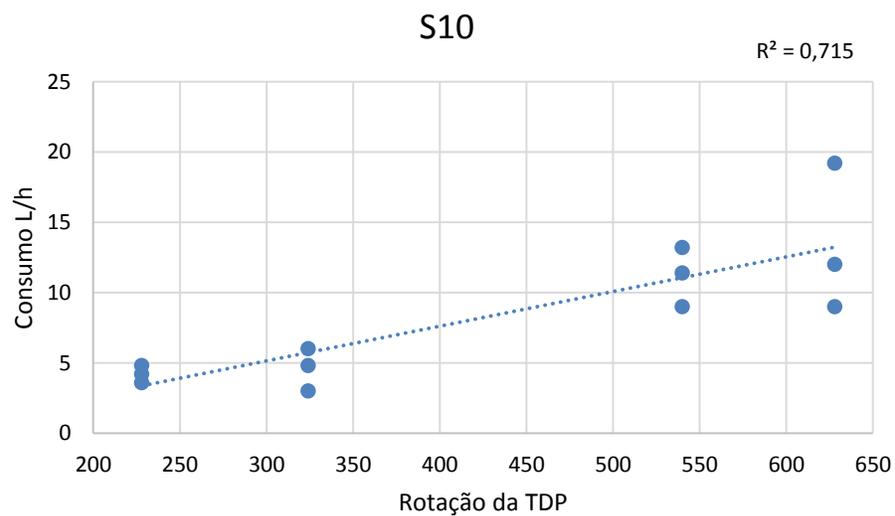


Fonte: Do autor (2017).

Nos gráficos de 10 a 12, pôde-se observar a potência nos combustíveis de base que foram o diesel S10 e o biodiesel B100, também no combustível que apresentou maior torque que foi o B24. No quadro 4, observa-se que a potência apresentou um decréscimo de 4,21%, se comparado o biodiesel B100 com o combustível comercial S10. Quando a comparação é feita entre o combustível comercial e a mistura B24, observa-se um acréscimo de 29,49% na potência quando a mistura é utilizada.

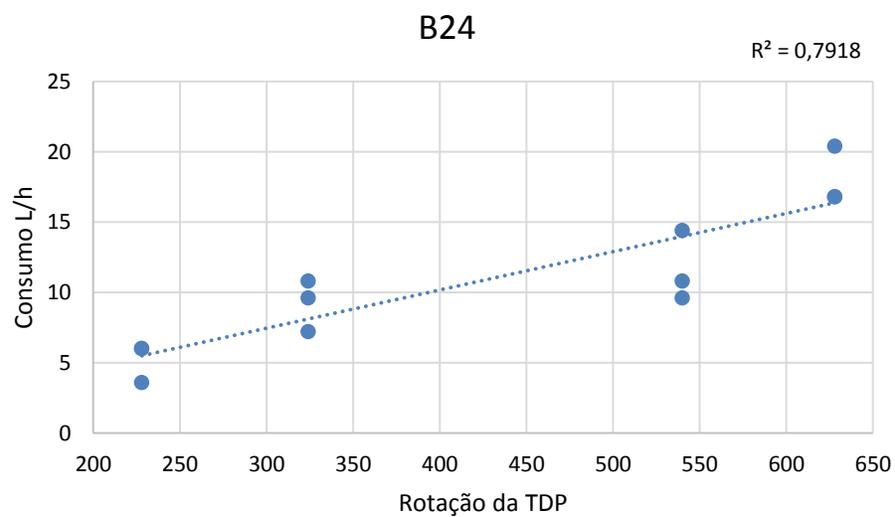
No entanto, o biodiesel B100 quando comparado com a mistura B24 apresenta um decréscimo de 25,81% na potência.

Gráfico 13 - Consumo pelo método da proveta do combustível comercial S10.



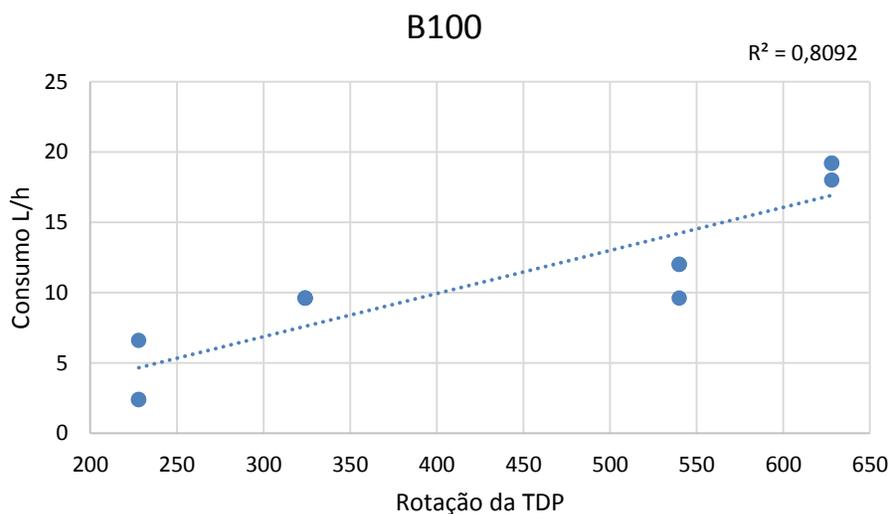
Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 14 - Consumo pelo método da proveta da mistura B24.



Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 15 - Consumo pelo método da proveta do combustível B100.

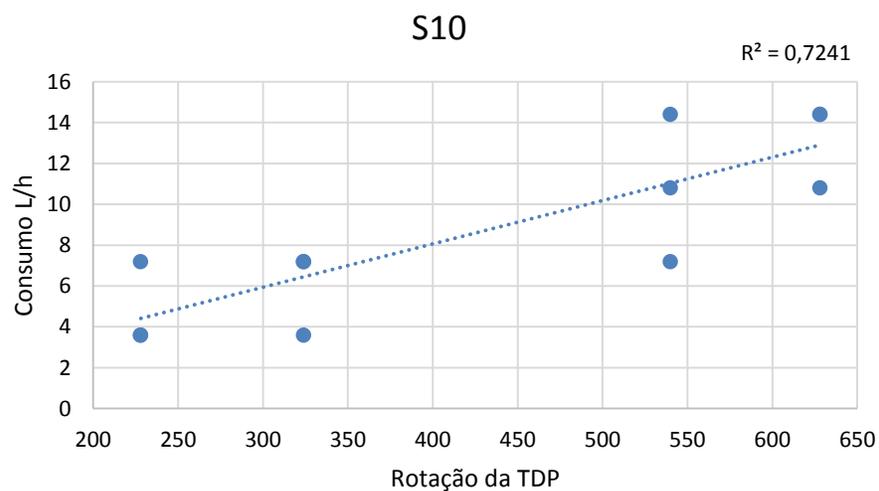


Fonte: Do autor (2017).

O consumo de combustível apresentou comportamento padrão como visto nos gráficos de 13 a 15, tendo um crescimento linear de acordo com o aumento da rotação de trabalho. Como apresentado no quadro 4, na rotação nominal, o consumo não apresentou variação significativa nos diferentes combustíveis utilizados, no entanto, na rotação intermediária de trabalho na TDP (340 rpm), houve um aumento de consumo na ordem de 108,7% do combustível comercial para o biodiesel B100, indicando uma menor eficiência do biodiesel nessa rotação.

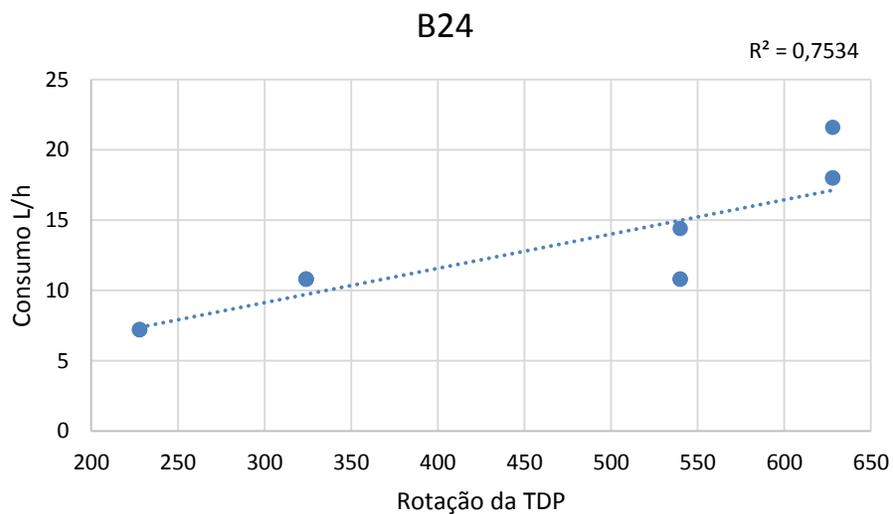
No quadro 4, mostra-se que a mistura B24 apresentou um aumento de 100% em relação ao consumo utilizando como combustível o diesel S10 comercial.

Gráfico 16 - Consumo pelo método do fluxômetro no combustível S10.



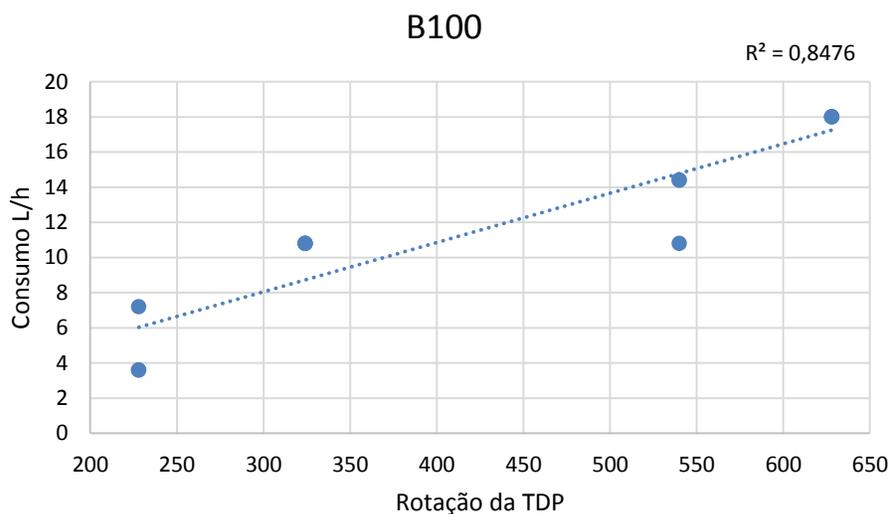
Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 17 - Consumo pelo método do fluxômetro no combustível B24.



Fonte: Do autor (2017).

Gráfico 18 - Consumo pelo método do fluxômetro no combustível B100.



Fonte: Do autor (2017).

O método de medição de consumo com o uso de fluxômetro, pode ser comparado com o método da proveta, para a aferição de sua precisão e confiabilidade, como visto no quadro 4, os dados não apresentam discrepância em seus valores o que indica que a variação é devida, possivelmente, a erros aleatórios como pequenas variações na aceleração do trator que é feita pelo operador, pois toda operação manual está sujeita a erros.

5.3 Emissão de gases

No quadro 5, pode-se analisar a emissão do gás CO pelo motor, com a utilização de todas as proporções de diesel/biodiesel analisados neste trabalho. Os resultados para o biodiesel aparentemente não satisfizeram as expectativas de diminuição nas emissões de monóxido de carbono, já que os índices aumentaram

significativamente com todas as misturas com biodiesel, exceto com a mistura B2 que diminuiu em relação ao S10.

Analisando os ciclos do teste que estão na rotação nominal, os níveis de CO emitidos aumentaram com o aumento da proporção de biodiesel, atingindo o nível máximo obtido nos testes nas misturas B6 e B12, sendo que os índices diminuíram até o B100. Ainda assim, seguindo os padrões como os obtidos por Koike et al. (2010) que, em seu trabalho, apresenta uma queda nas emissões quando utilizado o biodiesel puro B100.

Quadro 5 - Valores de CO (%) para todos os combustíveis utilizados no trabalho.

Ciclo - Rotação-Carga	Rotação na TDP (rpm)	S10	B2	B6	B12	B20	B24	B50	B80	B100
1 - Marcha lenta - 0%	228	0,02	0,02	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,14	0,14
2 - Intermediária - 10%	324	0,03	0,03	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,14	0,14
3 - Intermediária - 25%	324	0,03	0,03	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,14	0,14
4 - Intermediária - 50%	324	0,02	0,03	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,14	0,14
5 - Intermediária - 80%	324	0,02	0,03	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
6 - Intermediária - 100%	324	0,02	0,03	0,17	0,17	0,17	0,16	0,15	0,13	0,13
7 - Marcha lenta - 0%	228	0,03	0,02	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13	0,13
8 - Nominal - 100%	540	0,03	0,02	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13	0,12
9 - Nominal - 75%	540	0,02	0,02	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13	0,12
10 - Nominal - 50%	540	0,02	0,03	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,13	0,13
11 - Nominal - 25%	540	0,03	0,03	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,14	0,13
12 - Nominal - 10%	540	0,03	0,03	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,14	0,13
13 - Marcha lenta - 0%	540	0,03	0,03	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,14	0,13

Fonte: Do autor (2017).

No quadro 6, observam-se os dados apresentados para as emissões de dióxido de carbono, para todas as misturas utilizadas no trabalho. Analisando os dados, observa-se na rotação nominal que apenas na carga de 75% do torque a

emissão de CO₂ do B100 permanece igual ao diesel S10 comercial. Nas demais cargas, as emissões de dióxido de carbono aumentaram com o uso do biodiesel B100 em relação ao S10, para as cargas de 100%, 50%, 25% e 10%, podendo ser explicado pela maior eficiência da queima, pois a combustão tem como produto o CO₂.

Analisando cada mistura de diesel/biodiesel isoladamente, é possível observar que, mantendo-se a rotação de trabalho na TDP, as emissões de dióxido de carbono aumentam proporcionalmente com o aumento da carga aplicada no dinamômetro.

Quadro 6 - Valores de CO₂ (%) para todos os combustíveis utilizados no trabalho.

Ciclo - Rotação-Carga	Rotação na TDP (rpm)	S10	B2	B6	B12	B20	B24	B50	B80	B100
1 - Marcha lenta - 0%	228	2,10	1,90	2,00	1,90	2,00	2,20	2,10	2,10	2,00
2 - Intermediária - 10%	324	3,00	3,20	3,00	3,00	2,00	3,20	3,50	3,30	3,30
3 - Intermediária - 25%	324	3,40	3,40	3,40	3,30	3,30	3,40	3,60	3,60	3,90
4 - Intermediária - 50%	324	4,30	4,10	3,90	3,80	4,10	3,90	4,40	4,20	4,40
5 - Intermediária - 80%	324	5,30	4,90	5,10	5,10	5,20	5,30	5,50	5,30	5,70
6 - Intermediária - 100%	324	6,50	6,50	6,50	6,30	6,50	6,60	6,90	6,60	6,70
7 - Marcha lenta - 0%	228	1,90	3,10	1,90	1,90	1,90	1,90	2,20	2,00	2,00
8 - Nominal - 100%	540	3,70	6,10	6,40	6,20	6,40	6,80	6,50	6,70	6,70
9 - Nominal - 75%	540	5,00	5,30	5,20	5,00	5,30	5,40	5,70	5,70	5,00
10 - Nominal - 50%	540	4,40	4,40	4,10	5,10	4,20	4,20	4,40	4,70	5,00
11 - Nominal - 25%	540	3,60	3,70	3,50	3,50	3,80	3,40	3,70	4,20	4,20
12 - Nominal - 10%	540	3,30	3,40	3,30	3,00	3,40	3,00	3,90	3,80	3,90
13 - Marcha lenta - 0%	540	1,70	1,70	1,80	1,80	1,80	1,90	2,00	2,00	2,00

Fonte: Do autor (2017).

No quadro 7, apresentam-se os valores obtidos para HC em todas as misturas de combustíveis utilizadas, podendo ser analisado o comportamento da

emissão nas rotações e cargas diferentes. De forma análoga ao CO₂, a emissão de HC foi crescente de acordo com o aumento da carga na mesma rotação de trabalho.

A emissão de HC teve um decréscimo favorável independente da rotação ou carga de trabalho, pois houve diminuição dos níveis emitidos com a adição de biodiesel no diesel S10, atingindo os menores valores com as proporções de 50% e 80% de biodiesel, porém aumentando quando utilizado o biodiesel puro B100.

Quadro 7 - Valores de HC (ppm) para todos os combustíveis utilizados no trabalho.

Ciclo - Rotação-Carga	Rotação na TDP (rpm)	S10	B2	B6	B12	B20	B24	B50	B80	B100
1 - Marcha lenta - 0%	228	4	7	3	5	1	1	1	1	1
2 - Intermediária - 10%	324	9	7	4	6	2	1	1	1	1
3 - Intermediária - 25%	324	9	2	6	6	1	1	1	1	4
4 - Intermediária - 50%	324	12	2	5	6	2	1	1	1	7
5 - Intermediária - 80%	324	14	20	7	7	3	1	1	1	9
6 - Intermediária - 100%	324	14	27	8	8	5	5	1	4	12
7 - Marcha lenta - 0%	228	10	6	7	7	3	1	1	1	5
8 - Nominal - 100%	540	10	10	7	8	5	4	1	1	7
9 - Nominal - 75%	540	10	6	8	9	5	3	1	2	6
10 - Nominal - 50%	540	9	6	8	8	3	2	1	3	7
11 - Nominal - 25%	540	8	6	8	7	3	2	1	2	6
12 - Nominal - 10%	540	7	3	7	7	3	1	1	2	6
13 - Marcha lenta - 0%	540	4	1	6	7	1	1	1	1	2

Fonte: Do autor (2017).

6 CONCLUSÕES

A melhor mistura de diesel/biodiesel para o parâmetro torque foi a mistura B24 que é 76% de diesel comercial S10 e 24% de biodiesel de algodão, apresentando valores de torque maiores que o biodiesel B100.

Para o parâmetro potência, a mistura B24 apresentou valores maiores que o combustível comercial S10.

No consumo, a mistura que apresentou menores valores foi a B2 que é 98% diesel S10 comercial e 2% de biodiesel de algodão.

Nos testes de gases, para monóxido de carbono, a mistura B2 foi a que menos emitiu sendo menor que o diesel S10 e a mistura B24 semelhante ao S10. No parâmetro dióxido de carbono, o Diesel comercial apresentou os menores Valores. O parâmetro HC apresentou queda nas misturas a partir do B24.

A mistura B24 apresentou valores tecnicamente desejáveis em alguns quesitos e valores razoáveis em outros, podendo ser escolhido como a mistura de melhor desempenho geral, considerando os 8% de biodiesel presentes no diesel comercial, a mistura B24 tem, na realidade, uma percentagem de 30% de biodiesel.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Participação de diferentes matérias primas na produção de biodiesel**. [S.l.]: ANP, 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 28 jul. 2016.

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY - AOCS. **Official methods and practices of the American Oil Chemists' Society**. 4th ed. Champaign: AOCS, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14489**: motor diesel: análise e determinação dos gases e do material particulado emitidos por motores do ciclo diesel: ciclo de 13 pontos. Rio de Janeiro: ABNT, 2000. 41 p.

_____. **NBR ISO 1585**: veículos rodoviários: código de ensaio de motores: potência líquida efetiva. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 26 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO - ABRAPA. **A cadeia do algodão brasileiro: safra 2016/2017: desafios e estratégias/associação brasileira dos produtores de algodão**. Brasília: ABRAPA, 2017. 248 p.

BARBOSA, R. L. 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.

BARGER, E. L. et al. **Tratores e seus motores**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983. 398 p.

BENITEZ, J. B. de L. et al. Diseño de una planta de obtención de Biodiesel a partir de un residual de la industria azucarera (cachaza). **Centro Azúcar**, Santa Clara, v. 43, n. 1, p. 1-9, Enero/Mar. 2016.

BOULANGER, P. **Motores diesel**. São Paulo: Hemus, 1978. 661 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito. Portaria n. 38, de 01 de abril de 2014. Divulga os limites de emissões de gases e os procedimentos para a fiscalização de veículos do ciclo diesel e do ciclo Otto, motocicletas e semelhantes do ciclo Otto, conforme a Resolução CONTRAN n. 452, de 26 de setembro de 2013. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 abr. 2014. Seção 1, p. 67.

_____. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 jan. 2005.

_____. Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 mar. 2016.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA, 2009. 399 p.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. 2. ed. rev. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 220 p.

CALHEIROS, M. N. **Extração de orizanol da borra de neutralização do óleo de farelo de arroz**. 2007. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CASTELLANELLI, M. et al. Desempenho de motor ciclo Diesel em bancada dinâmométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 145-153, jan./mar. 2008.

CLÁUDIO, J. Dinamômetros. **Dinos**, [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/dinos1.html>>. Acesso em: 21 jul. 2016.

COCCO, D. L. **Desempenho fisiológico de sementes de algodão**. 2012. 26 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Series Históricas - Algodão** [S.l.]: Conab, 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_02_09_10_42_59_algodaoseriehist.xls>. Acesso em: 17 fev. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990. Estabelece padrões de qualidade do ar e emissões de poluentes no Território Nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 ago. 1990. Seção I, p. 15937-15939.

CORREA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; STORINO, M. Mistura de biodiesel de sebo bovino em motor diesel durante 600 horas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1189-1194, jul. 2011.

COSTA NETO, P. R. et al. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 531-53, ago. 2000.

FERRARI, R.; OLIVEIRA, V.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.

GAMA, P. E.; SAN GIL, R. A. da S.; LACHTER, E. R. Produção de biodiesel por transesterificação em situ de sementes de girassol por catálise homogênea e heterogênea. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 9, p. 1859-1862, 2010.

GONDIM-TOMAZ, R. M. A. et al. Teor de óleo e composição de ácidos graxos em sementes de diferentes genótipos de algodoeiro. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 19, p. 1-8, 2016.

GRAEFF, Á.; TOMAZELLI, A. Fontes e níveis de óleos na alimentação de carpa comum (*Cyprinus carpio* L.) na fase de crescimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1545-1551, Oct. 2007.

HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engine fundamentals**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988. 930 p.

KNOTHE, G.; KRAHL, J.; GERPEN, J. V. **The biodiesel handbook**. Illinois: OACS Press, 2005. 286 p.

KNOTHE, G.; VAN GERPEN, J.; KRAHL, J. **Manual de biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 340 p.

KOIKE, G. H. A. et al. Emissão dos gases de combustão em motor de ignição por compressão: ensaio comparativo entre diesel, biodiesel, e biodiesel com injeção de etanol. **Minerva Pesquisa e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 7, n. 1, p. 11-18, jan./abr. 2010.

LIMA, L. N. et al. **Produção de biodiesel etílico utilizando óleo de algodão por catálise básica**. Paraíba: Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

LIMA, P. C. **O biodiesel e a inclusão social**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2004. 200 p.

LÜDTKE, F. L. **Estudo da degomagem e clarificação de óleo bruto do farelo de arroz (*Oryza sativa*) visando refino físico**. 2016. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU, 1980. 2v, 367 p.

MICHAELIS. **Dicionário brasileiro da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Melhoramentos, 2016. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/>>. Acesso em: 1 ago. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 28 jul. 2016.

OVAL. **Super Micro Flowmate**: Flowmate (OVAL M-III). Seoul: OVAL, 2006.

PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL - PNPB. 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/programa/objetivos_diretrizes.html>. Acesso em: 1 ago. 2016.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 5, n. 1, p. 2-15, 2013.

REIS, E. 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. 17, n. 5, p. 565-571, maio 2013.

SILVA, F. M. da. **Motores e tratores agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA/FAEPE 2003. 68 p.

SILVA, M. A. A.; BORGES, A. T. D.; ANTONIOSI FILHO, N. R. Desenvolvimento de ensaio para análise qualitativa de biodiesel em misturas diesel-biodiesel para aplicação em postos revendedores de combustíveis. **Química Nova**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 100-103, jan. 2016.

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. 843-851, maio/jun. 2008.

STIDHAM, W. D.; SEAMAN, D. W.; DANZER, M. F. **Method for Preparing a Lower Alkyl Ester Product from Vegetable Oil**. Patent nº U.S. 6,127,560, 2000.

SUAREZ, P. A.; MENEGHETTI, S. M. 70o Aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 2068-2071, 2007.

THENGUMPILLIL, N. B. K.; ONGOLE, R.; POTULA, S. B. Process for the preparation of rice bran oil low in phosphorous content. **Council Of Scientific And Industrial Research US Patents**. Patent nº US 6,706,299 B2, 2004.

VAN GERPEN, J. H. et al. **Determining the influence of contaminants on biodiesel properties**. Iowa: Iowa State University, 1997. 31 p.

VEROCAI, I. A experiência brasileira em avaliação de impacto ambiental. In: SIMPÓSIO AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS, 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991. p. 1-10.

VOLPATO, C. E. S. et al. Performance of cycle diesel engine using Biodiesel of olive oil (B100). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 3, p. 348-353, jun. 2012.

WYLEN, G. J. V.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1993. 318 p.