

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CIÊNCIAS
EXATAS E TECNOLÓGICA
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**Efeito de diferentes concentrações de biodiesel no
desempenho de um trator em operação de preparo do solo**

João Paulo Barreto Cunha

Anápolis
Março, 2011

EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE BIODIESEL NO DESEMPENHO DE UM TRATOR EM OPERAÇÃO DE PREPARO DE SOLO

JOÃO PAULO BARRETO CUNHA

Orientador: Professor D. S. Elton Fialho dos Reis

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas de Anápolis como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Sistemas Agroindustriais, para obtenção do título de MESTRE.

Anápolis
Março, 2011

CUNHA, João Paulo Barreto.

Efeito de diferentes concentrações de biodiesel no desempenho de um trator em operação de preparo do solo - 2011.

62 f. il.

Orientador: Prof. D Sc. Elton Fialho dos Reis.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás. Mestrado *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, 2011.

Bibliografia.

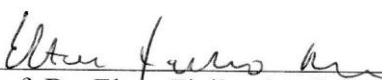
1. Ciências Agrárias. 2. Engenharia Agrícola. 3. Máquinas Agrícolas. I. Título.

**EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE BIODISEL NO
DESEMPENHO DE UM TRATOR EM OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO**

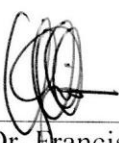
João Paulo Barreto Cunha

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE
EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovada em: 29/03/2011



Prof. Dr. Elton Fialho dos Reis
Orientador
UEG/UnUCET



Prof. Dr. Francisco Faggion
EA/UNB



Prof. Dr. Ivano Alessandro Devilla
UEG/UnUCET

Ao meu Deus
Aos meus fantásticos pais
A minha baixinha Ana Carolina
Aos meus queridos irmãos

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Goiás, ao Departamento de Engenharia Agrícola e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro para realização deste trabalho;

Ao Professor Dsc. Elton Fialho dos Reis pela orientação, auxílio e disponibilidade durante o curso;

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelo apoio e sugestões sempre bem vindas no decorrer dos estudos;

Aos senhores Kennedy e Lucas Camilo pela disponibilização da área e do material de consumo para a realização do experimento;

Aos funcionários Waldeir, Eliete, Alba e Igor pela vontade de auxiliar sempre, pelas boas histórias e risadas na hora do almoço;

Aos meus amigos da Engenharia Agrícola da UEG Mateus, João Mauricio, Valter, Luciana, Josué, Rodney, Renata, Lucas, Vandoir, Evandro, Jacqueline, Ludmilla, Rodrigo, Beethoven, Neyber, Elson, Daniel, Jana, Ananda, Antônio e aos outros tantos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa caminhada;

Ao aluno Luis Henrique pela grande ajuda na realização das análises de laboratório;

A minha querida amiga Rute Quelvia pelo apoio e companheirismo desde a época de Rural;

A minha família goiana, em especial aos queridos Túlio e Camilla, pela ajuda na adaptação e o aconchego do lar, amenizando a saudade dos que ficaram longe;

Aos meus afilhados Claudio e Carla pelas idas a Barra do Garças, as cervejinhas no Araguaia, as trilhas (mesmo que erradas..) e pelo descanso mental proporcionado;

Aos meus maravilhosos pais Paulo Roberto da Costa Cunha e Maria de Fatima Nepomuceno Barreto Cunha, pelos conselhos, ensinamentos, orientação, carinho e principalmente pela ajuda em todas as horas;

Aos meus irmãos, primos, tios e amigos pela bela recepção, os churrascos, os sambas e os jogos do Vasco sempre que aparecia na Cidade Maravilhosa;

A minha namorada Ana Carolina que com seu amor, companheirismo, ajuda e carinho conseguiu fazer a distância ficar menos dolorosa;

A DEUS por tudo de maravilhoso vivido nesse tempo.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Motor Ciclo Diesel.....	3
<i>2.1.1. Historia do Motor ciclo Diesel.....</i>	<i>3</i>
<i>2.1.2. Uso de Óleos Vegetais em Motores Diesel</i>	<i>3</i>
2.2. Biodiesel.....	5
<i>2.2.1. Processo de obtenção do biodiesel.....</i>	<i>5</i>
2.3. Biodiesel no Brasil.....	7
2.4. Biodiesel de Soja.....	9
2.5. Biodiesel e as Emissões de Gases Poluentes.....	10
<i>2.5.1. Ensaio para avaliação e determinação da emissão de poluentes</i>	<i>12</i>
2.6. Preparo do Solo	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1. Características Gerais.....	15
3.2. Caracterização das máquinas.....	16
<i>3.2.1. Trator</i>	<i>16</i>
<i>3.2.2. Grade aradora.....</i>	<i>16</i>
<i>3.2.3. Velocidade de operação do Conjunto mecanizado</i>	<i>16</i>
3.3. Combustíveis utilizados	17
<i>3.3.1. Propriedades físico-químicas das misturas de combustível</i>	<i>18</i>
3.4. Delineamento Experimental	19
3.5. Determinação da profundidade de corte.....	19
3.6. Patinagem da roda motriz do trator.....	19
3.7. Determinação da força na barra de tração	20
<i>3.7.1. Sistema de aquisição de dados</i>	<i>21</i>
<i>3.7.2. Calibração da célula de carga</i>	<i>22</i>
<i>3.7.3. Determinação da potência média na barra de tração.....</i>	<i>23</i>

3.8. Consumo de Combustível	24
3.8.1. <i>Consumo horário de combustível</i>	25
3.8.2. <i>Consumo específico de combustível</i>	26
3.9. Determinação das emissões de gases poluentes	26
3.10. Análise estatística	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1. Emissões de gases	29
4.1.1. <i>Emissões de Oxigênio (O_2).....</i>	29
4.1.2. <i>Emissões de dióxido de carbono (CO_2)</i>	30
4.1.3. <i>Emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x)</i>	31
4.1.4. <i>Emissões de monóxido de carbono (CO)</i>	32
4.1.5. <i>Emissões de óxidos de enxofre (SO_x).....</i>	34
4.2. Desempenho do conjunto mecanizado.....	34
4.2.1. <i>Patinagem da roda Motriz do trator.....</i>	35
4.2.2. <i>Força de tração e potência media na barra de tração</i>	36
4.2.3. <i>Consumo horário de combustível</i>	39
4.2.4. <i>Consumo específico de combustível</i>	40
5 CONCLUSÕES	41
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS	50
ANEXO A.....	50
ANEXO B.....	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Evolução dos teores de biodiesel a serem adicionados ao diesel de petróleo.	8
TABELA 2. Características do solo da área utilizada para a realização do ensaio	16
TABELA 3. Propriedades físico-químicas das amostras utilizadas no ensaio.....	18
TABELA 4. Resumo da análise de variância das variáveis expresso pelo quadrado médio: emissão de oxigênio (O_2), dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e óxidos de enxofre (SO_x).	29
TABELA 5. Valores médios das emissões de oxigênio (%) em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados no diesel e das diferentes profundidades de trabalho da grade aradora.	30
TABELA 6. Valores médios das emissões de dióxido de carbono expressos (%) em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados ao diesel e das profundidades de trabalho da grade aradora.....	31
TABELA 7. Valores médios das emissões de óxidos de nitrogênio expressos em ppm (partes por milhão) em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados no diesel e diferentes profundidades de trabalho da grade aradora.	32
TABELA 8. Resumo da análise de variância das variáveis expresso pelo quadrado médio: Patinagem do trator (PAT %), força de tração (FT), potência na barra de tração (Kw), consumo horário ($L.h^{-1}$) e consumo específico ($g.Kw.h^{-1}$).	35
TABELA 9. Valores médios para do consumo horário de combustível ($L.h^{-1}$) expressos em litros por hora em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados ao diesel e profundidades de trabalho da grade aradora.	39

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Reação de transesterificação produzindo glicerol e ésteres (biodiesel).....	5
FIGURA 2. Efeito da mistura diesel/biodiesel na emissão de poluentes.....	11
FIGURA 3. Vista geral área utilizada para a realização dos ensaios de campo.....	15
FIGURA 4. Trator e grade aradora utilizada nos ensaios de campo.	17
FIGURA 5. Diferentes concentrações de biodiesel misturado ao diesel utilizados no motor do trator.	18
FIGURA 6. Barra de tração equipada com mecanismo de proteção para a célula de carga.	21
FIGURA 7. Esquema de aquisição de dados para a grade aradora em operação de preparo do solo.	22
FIGURA 8. Célula de carga acoplada à prensa para a calibração e conversão de valores de tensão em força.	23
FIGURA 9. Fluxograma do sistema de medição de combustível.	24
FIGURA 10. Em sentido horário: detalhe no visor do monitor no momento da leitura, posição do termopar no escapamento da máquina, vista frontal do monitor ambiental de combustão e emissão de gases utilizado no ensaio.....	27
FIGURA 11. Superfície de resposta representando o efeito das diferentes concentrações de biodiesel misturado ao diesel e da profundidade de trabalho na emissão de monóxido de carbono.	33
FIGURA 12. Emissões de óxidos de enxofre (SO_x) em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados ao diesel.	34
FIGURA 13. Estimativa da patinação da roda motriz do trator em função da profundidade de trabalho da grade aradora.	36
FIGURA 14. Superfície de resposta do efeito das diferentes concentrações de biodiesel misturados ao diesel e da profundidade de trabalho da grade aradora na força de tração.	37
FIGURA 15. Superfície de resposta representando o efeito das diferentes concentrações de biodiesel misturado ao diesel e da profundidade de trabalho na potência média na barra de tração.....	38
FIGURA 16. Estimativa do consumo específico de combustível em função da variação da profundidade de trabalho da grade aradora.....	40

EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE BIODIESEL NO DESEMPENHO DE UM TRATOR EM OPERAÇÃO DE PREPARO DE SOLO

RESUMO

Desde o século passado, a utilização de combustíveis fósseis tem predominado como principal fonte de energia. Devido às questões energéticas e ambientais, principalmente no que diz respeito à emissão de gases poluentes, a procura por fontes alternativas de energia tem se intensificado. Dentro desse contexto estudos para a utilização de biodiesel em motores ciclo diesel tem se tornado frequente. Este trabalho visou avaliar as emissões de gases em um trator com motor ciclo Diesel utilizando diferentes misturas de biodiesel de soja e óleo diesel em um conjunto trator/grade aradora realizando a operação de preparo periódico do solo. O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, onde as parcelas foram constituídas pelas misturas de biodiesel e óleo diesel (B5, B10, B25, B50, B75 e B100) e as subparcelas as profundidades de atuação da grade aradora (0,11; 0,13; 0,16; 0,182 m), no delineamento em blocos casualizados, com três repetições. O experimento foi realizado nas dependências do aeroporto municipal de Anápolis-GO em Latossolo Vermelho Amarelo. Foram determinadas as emissões de monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxigênio, óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre e a força de tração, potência na barra de tração, patinagem, consumo horário e consumo específico de combustível relacionadas ao desempenho do conjunto mecanizado. Os resultados obtidos mostraram que o uso do biodiesel é viável, por reduzir as emissões de monóxido de carbono e de óxidos de enxofre, principais gases poluentes. A patinagem aumenta com o aumento da profundidade de trabalho, devido à maior exigência de potência do trator. O consumo específico diminuiu com o aumento da profundidade de trabalho. A força de tração e a potência na barra de tração reduzem quando há o aumento combinado dos fatores concentração de biodiesel na mistura e profundidade de trabalho.

Palavras chave: biocombustível, biodiesel de soja, gases poluentes.

EFFECTS OF DIFFERENT BIODIESEL CONCENTRATIONS IN THE PERFORMANCE OF A TRACTOR IN OPERATION OF TILLAGE

ABSTRACT

Since the last century, the use of fossil fuels has prevailed as the main source of energy. Due to energy and environmental issues, especially regarding to the emission of greenhouse gases, the demand for alternative energy sources has increased. In this context studies of the use of biodiesel in diesel cycle engines have become more frequent. The aim of this study was to evaluate the emissions in a diesel cycle engine using different mixtures of soybean biodiesel and diesel fuel in a tractor / harrow performing the operation of soil tillage. The experiment was a split plot, where the plots were mixtures of biodiesel and diesel (B5, B10, B25, B50, B75 and B100) and the subplot the depths of harrow acting (0.11; 0.13; 0.16; 0.182 cm) in a randomized block design with three replications. The experiment was conducted on the premises of the Anápolis city airport, where were determined emissions of carbon monoxide, carbon dioxide, oxygen, nitrogen oxides and sulfur oxides as well as the variable traction force, power on the draw bar, slippage, fuel consumption and specific fuel consumption related to operational performance of the mechanized set. The results show that using biodiesel is viable, reducing emissions of carbon monoxide and oxides of sulfur, the main greenhouse gases. The slippage increased with increasing working depth, due to higher demand for power from the tractor. The specific consumption decreased with increasing of working depth. The drawbar force and power was reduced when the concentration of factors combined increase the biodiesel blend and depth of work.

Keywords: biofuels, soybean biodiesel, greenhouse gases.

1 INTRODUÇÃO

O uso de combustíveis derivados de petróleo tem sido a maior fonte de energia mundial, desde o século passado. No entanto, por se tratar de um recurso finito e ainda provocar o efeito estufa pela emissão de gases poluentes, tem-se intensificado a busca de novas fontes de energia que agredam cada vez menos o meio ambiente e que sejam renováveis.

Mais significativo até que as diversas crises provocadas pela diminuição das reservas mundiais de petróleo foi o reconhecimento pela sociedade do potencial dos bicomcombustíveis como elementos menos agressivos ao ambiente que os derivados de petróleo. Adiciona-se a esse fato que por meio da difusão dos conhecimentos gerados, pela pesquisa com bicomcombustíveis e incentivos governamentais, estão permitindo o favorecimento e a minimização dos custos de produção para a utilização dessa fonte energética.

A utilização da biomassa tem atraído muita atenção por parte do meio científico nos dias atuais, esse fato deve-se por tratar de uma fonte de energia renovável e seu uso, de maneira sustentável, provocar menores danos ao meio ambiente. Dentre as inúmeras fontes renováveis, destaca-se a utilização dos óleos vegetais ou óleos vegetais transesterificados (biodiesel), cujo uso tem sido largamente difundida pelos programas de energia renovável.

Com a assinatura do Protocolo de Quioto, vêm se buscando mobilizar a comunidade internacional para promover uma ação conjunta com o objetivo de estabilizar na atmosfera a concentração dos gases causadores do efeito estufa, limitando assim, a interferência sobre o sistema climático global. O aumento na concentração de dióxido de carbono, metano e compostos sulfurados, vem acarretando sérias mudanças climáticas, como o aumento da temperatura média global, elevação no nível médio dos oceanos e mudança no perfil das precipitações.

Dessa maneira vários estudos têm demonstrado que a substituição do diesel de petróleo por óleos vegetais transesterificados (biodiesel) promovem a redução desses compostos na atmosfera.

Nesse sentido o Brasil vem promovendo a inserção de combustíveis renováveis em sua matriz energética, incentivando a utilização dos biocombustíveis, principalmente aos destinados para o uso em motores de ciclo diesel tentando buscar de forma rápida o

desenvolvimento que alguns países já atingiram na utilização do biodiesel, que é a principal alternativa reconhecida atualmente para a substituição dos combustíveis de origem fóssil.

De uma forma geral faz-se a necessidade de não somente avaliar as emissões quando utilizado o biodiesel, como também requer um maior conhecimento sobre a eficiência do processo de combustão, dos parâmetros operacionais e a durabilidade do motor e seus componentes.

Portanto a qualidade do biodiesel utilizado é de fundamental importância para o funcionamento do motor e seus componentes, aumentando assim a vida útil do equipamento e diminuição na periodicidade das manutenções técnicas.

O presente trabalho objetivou avaliar a emissão de gases e o desempenho operacional em um motor ciclo Diesel utilizando diferentes percentuais de misturas de biodiesel de soja e óleo diesel automotivo interior (B5) em um conjunto trator/grade aradora realizando a operação de preparo periódico do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Motor Ciclo Diesel

2.1.1. *Historia do Motor ciclo Diesel*

Na Alemanha Rudolph Diesel, ainda um simples universitário, tinha como principal sonho desenvolver um motor que utilizasse totalmente a energia do combustível. Segundo Carvalho et al. (2000), Rudolph Diesel conseguiu patentear sua idéia em 22 de fevereiro de 1893, depois de diversos projetos desenvolvidos, correções e ajustes. Rapidamente o motor desenvolvido passou a ser difundido e produzido em toda Alemanha, sendo bastante utilizado por empresas geradoras de energia num primeiro momento.

2.1.2. *Uso de Óleos Vegetais em Motores Diesel*

Desde os primórdios do motor diesel já é discutida a utilização de óleos vegetais como combustível, onde o próprio Rudolph Diesel utilizou óleo de amendoim para a demonstração na Exposição em Paris em 1900 (ALTIN et al., 2001).

Historicamente o uso dos óleos vegetais foi superado pelo uso de óleo diesel derivado do petróleo, seja por fatores técnicos ou econômicos. A partir das sucessivas crises e aumento no preço do petróleo, principalmente pela instabilidade das grandes regiões produtoras, como também, as crescentes preocupações ambientais começou a ser discutida a substituição dos combustíveis derivados de petróleo, renovando o interesse de muitos países na utilização de combustíveis alternativos (CRUZ et al., 2006).

Óleos vegetais são produtos naturais derivados de uma mistura de ésteres e glicerol, onde sua aplicação direta em motores é limitada devido a algumas propriedades físicas. Devido a sua alta viscosidade, sua baixa volatilidade e seu caráter polisaturado, implicam problemas no motor como também combustão incompleta. Para Ma & Hanna (1999) o grande problema do uso de óleos vegetais é a ocorrência de excessivos depósitos de carbono, obstrução de filtros, linhas e bicos injetores, diluição parcial do combustível no lubrificante, comprometendo assim a durabilidade do motor.

Um dos principais problemas relacionados ao uso de óleos vegetais como combustível é a reatividade do combustível não queimado presente no cilindro e no cárter. O combustível não queimado ou queimado parcialmente é a causa principal do envernizamento como da formação de crostas no bico injetor. Gonzalez (1994) cita que o uso de óleos vegetais não se mostra adequado, principalmente pela formação de resíduos carbonosos.

A alta viscosidade do combustível pode afetar o funcionamento das bombas injetoras de combustível. O grande obstáculo ao uso de óleos vegetais como combustível é sua alta viscosidade (MEHER et al., 2006). Assim a redução da viscosidade é uma das maneiras para a redução dos acúmulos nas paredes do cilindro como também, para a melhora do desempenho do bico injetor. Um combustível bem atomizado, completamente queimado, não atrapalha ou estraga qualquer peça do motor. Segundo Msipa et al. (1983) a atomização do combustível para a formação do jato combustível é o problema chave no que se refere a utilização de óleos vegetais, visto que é um fenômeno que influencia o próprio processo de combustão.

O ponto de névoa, que corresponde à temperatura de cristalização do óleo, é uma das propriedades que desfavorece a utilização de óleos vegetais *in natura* em motores ciclo diesel, principalmente quando o motor é acionado em condições de baixas temperaturas. De acordo com Costa Neto et al.(2000) todos os óleos vegetais que já tiveram seu uso em motores diesel investigados apresentam ponto de névoa superior ao óleo diesel convencional, sendo necessária a utilização do pré-aquecimento para evitar os efeitos da solidificação parcial dos óleos.

Ogura et al. (2002) relatam que a névoa de combustível formada na injeção aproxima-se de um formato de guarda-chuva, e que o maior efeito de difusão como a velocidade de formação do jato de combustível foram alcançados quando o combustível era submetido ao aquecimento. A maior difusão foi alcançada quando a temperatura era de 100°C, em comparação com os jatos desses mesmos combustíveis quando a temperatura era de 30°C. Os óleos combustíveis derivados do petróleo são mais estáveis à temperatura de destilação, mesmo quando ocorre um excesso de oxigênio no meio. Ao contrario os óleos vegetais devido a sua composição química já sofrem reações de oxidação mesmo na temperatura ambiente (COSTA NETO et al., 2000). O aquecimento dos óleos vegetais a temperaturas próximas a 250°C promove a decomposição térmica cujo resultado é a formação de polímeros que fazem com que os níveis de fumaça aumentem, a viscosidade do óleo lubrificante diminua como também a potência pela

queima incompleta de alguns compostos. Esse comportamento segundo os autores não é verificado em compostos metanilizados ou etanolizados (biodiesel).

Segundo Hassett & Hasan (1982) a redução da viscosidade por meio da formação de um novo produto, ou seja, um éster metílico será uma solução para alguns dos problemas em motores quando óleos vegetais são usados no lugar de diesel combustível. Através da reação de transesterificação possibilita a obtenção de biodiesel e conseqüentemente com a retirada da glicerina, solucionando estes problemas (CRUZ et al., 2006).

2.2. Biodiesel

Conforme a Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005, biodiesel é definido como um biocombustível derivado de biomassa renovável, para uso em motores a combustão interna ou conforme regulamento para outro tipo de geração de energia, que possa substituir, parcial ou totalmente, combustíveis de origem fóssil (BRASIL, 2005a). Cabe ressaltar que o biodiesel somente será vendido efetivamente aos consumidores nos postos se atender às especificações técnicas exigidas pela norma brasileira.

2.2.1. Processo de obtenção do biodiesel

De acordo com Ma & Hanna (1999) a produção de ésteres pode ocorrer de três maneiras, através do craqueamento térmico (pirólise), microemulsões e a transesterificação. Com isso a maneira mais comum para a obtenção do biodiesel é através da reação de transesterificação de óleos vegetais ou gorduras com alcoóis primários, podendo ser realizada em meio ácido quanto em meio básico, conforme demonstrado na Figura 1.

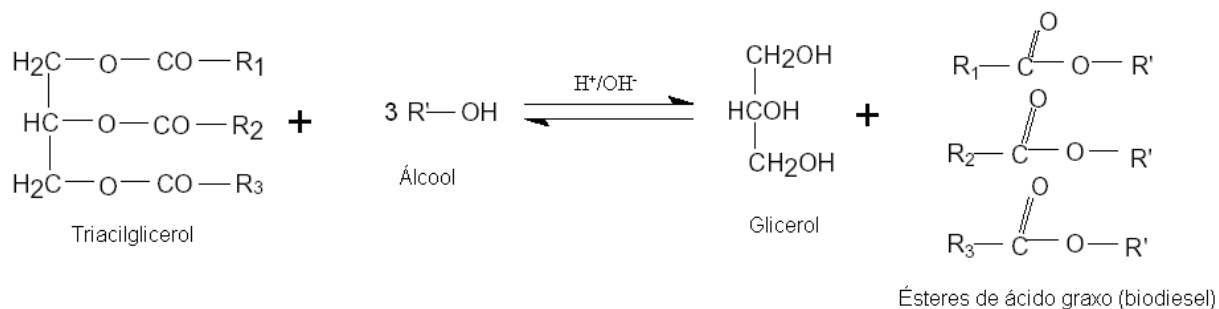


FIGURA 1. Reação de transesterificação produzindo glicerol e ésteres (biodiesel).

O processo de transesterificação é descrito por Garcia & Tookuni (2006) como a retirada da glicerina do óleo vegetal, onde após esse processo as propriedades fluidodinâmicas do biodiesel formado se assemelham as do óleo diesel de origem fóssil, significando assim que não há a necessidade de adaptação ou regulagens no sistema de injeção dos motores para sua utilização.

Na reação de transesterificação cada molécula de triglicerol reage com três moléculas de álcool produzindo assim, uma molécula de glicerina e três moléculas de éster de ácido graxo, onde o emprego de um excesso de álcool é necessário para o deslocamento do equilíbrio químico para a maior formação do produto (SHARMA et al., 2008).

O Biodiesel pode ser obtido por meio de duas rotas principais, ou seja, a rota metílica e a rota etílica. De acordo com Ma & Hanna (1999) e Knothe (2006) a rota metílica é atualmente a mais difundida entre os programas nacionais de biodiesel. Deve-se a esse fato que o metanol apresenta melhor eficiência de conversão (redução do tempo e maiores quantidades de ésteres), mais barato e acessível que o etanol. Para Freedman et al. (1986) a rota metílica é tecnicamente mais viável que a rota etílica pela quantidade de água presente no etanol, fazendo com que ocorra o retardamento da reação. Em contrapartida o uso do metanol exige armazenamento e manuseio adequado, devido principalmente a elevada toxicidade dessa substância.

No Brasil a rota etílica vem se tornando cada vez mais promissora, principalmente pela grande capacidade de produção e beneficiamento da cultura da cana-de-açúcar (VICENTE et al., 2004). Algumas vantagens como a baixa toxicidade, importante redução na emissão de gases estufa e grande disponibilidade de matéria prima, representam as justificativas para a implantação dessa rota de produção no país. Em contrapartida Knothe (2006) cita como algumas das desvantagens da rota etílica são o acúmulo de resíduos de carbono em motores, redução da estabilidade dos ésteres obtidos e principalmente menor rendimento do processo por esta rota.

A reação de transesterificação pode ser realizada tanto no meio ácido como no meio básico, como já citado anteriormente, por catalisadores heterogêneos e enzimas onde cada método apresenta suas vantagens e desvantagens dependendo da matéria prima utilizada. No processo de produção de biodiesel segundo Ma & Hanna (1999) e Sharma et al. (2008) citam que a catálise básica é mais rápida que a ácida, sendo os catalisadores mais empregados o hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH) e seus alcóxidos.

De acordo com Rathman et al. (2006) o principal foco e cuja necessidade de estudos e análises mais detalhadas vem aumentando é o aproveitamento dos subprodutos gerados na cadeia produtiva do biodiesel, visto que pode ser um fator determinante para a viabilidade econômica na produção desse tipo de combustível. O mesmo autor cita que entre os principais subprodutos do processo de produção do biodiesel estão a glicerina, lecitina, torta de oleaginosa e farelo.

Uma contribuição nesse sentido foi a de Ferres (2003) que em estudo demonstrou a estimativa dos custos do biodiesel através do óleo de soja. O estudo aponta que o custo para a produção de biodiesel é de US\$ 394,78 por tonelada. Com o aproveitamento do subproduto estima-se que o custo total de obtenção por tonelada sofreria redução de US\$ 77,79, visto que a reação de biodiesel gera em media 15 % de glicerina. Em contrapartida o autor não considera se essa diminuição se realizaria, pois não é possível apontar como esse excesso de glicerina seria aproveitado pelo mercado.

2.3. Biodiesel no Brasil

As primeiras experiências com uso comercial do biodiesel surgiram nos anos da segunda guerra mundial, mais precisamente em 1937, com a obtenção da patente belga. Segundo Paulillo et al. (2007) devido a esse fato o biodiesel já é largamente difundido na Europa como, por exemplo na Alemanha, que é o maior produtor e consumidor. Ramos et al. (2003) cita que outros países desenvolveram seus programas nacionais de biodiesel há bastante tempo, como nos Estados Unidos onde leis aprovadas a partir de 2002 nos estados da Carolina do Norte e de Minnessota determinavam a adição de pelo menos 2% em todo óleo diesel a ser consumido.

No Brasil estudos relacionados à utilização de biocombustíveis iniciaram na década de 70, com a experiência do PROÁLCOOL, o qual foi implementado a partir das diversas variações de preços no mercado do petróleo (PLÁ, 2002). Mesmo nesse cenário pouco se investiu nesse importante setor da economia até o fim da década de 90, mais a partir da pressão de áreas ambientais e da indústria automotiva, fez com que o governo brasileiro introduzisse o uso de óleos vegetais transesterificados na sua matriz energética.

A partir da Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005 foi introduzido o biodiesel na matriz energética brasileira e foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). Os objetivos básicos do programa foram traçados como: (i)

diversificar a bolsa de combustíveis fósseis renováveis, (ii) reduzir a importância do diesel de petróleo, (ii) criar emprego e renda no Brasil, (iv) fixar famílias no campo, ampliando de forma sustentável a agricultura local, (v) utilizar terras inadequadas para plantios de gêneros alimentícios e (vi) disponibilizar um combustível ambientalmente correto. Além disso, a Lei nº 11.097 definiu o teor de biodiesel a ser adicionado ao diesel de petróleo e regulamentou a comercialização de biocombustíveis, já a Lei Nº 11116 (18/05/2005) definiu as regras tributárias (BRASIL, 2005a).

TABELA 1. Evolução dos teores de biodiesel a serem adicionados ao diesel de petróleo. Fonte: Rosa, 2010.

Evolução da mistura e demanda estimada de biodiesel no Brasil		
ANO	Bx	Demanda estimada biodiesel (milhões de litros)
2007	B2	840
2008	B2-B3	840- 1300
2009	B3	1500
2010	B5	2500

De acordo com a legislação em vigor, compete à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) autorizar, regular e fiscalizar a comercialização de biocombustíveis, introduzindo assim o biodiesel na matriz energética do país (PESSOA et al. , 2007).

A utilização comercial do biodiesel no Brasil está amparada através do Marco Regulatório de 24 de novembro de 2004, que considera a diversidade de oleaginosas disponíveis no País, a garantia do suprimento e da qualidade, a competitividade frente aos demais combustíveis e uma política de inclusão social, permitindo a produção a partir de diferentes oleaginosas e rotas tecnológicas, possibilitando a participação do agronegócio e da agricultura familiar (BRASIL, 2005b).

Atos legais que formam o marco regulatório estabelecem os percentuais de mistura do biodiesel ao diesel, a rampa de mistura, a forma de utilização, onde conforme a Tabela 1, a partir de janeiro de 2010 passou a ser obrigatória a mistura de 5% de biodiesel em todo óleo diesel consumido no Brasil, exceto o óleo diesel marítimo. Além disso decretos regulamentam o regime tributário com diferenciação por região de plantio, por oleaginosa e por categoria de produção (agronegócio e agricultura

familiar), criam o selo Combustível Social e isentam a cobrança de Imposto sobre Produtos Industrializados (MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA, 2009).

2.4. Biodiesel de Soja

O Brasil possui uma condição de solo e clima bastante favorável para a produção de oleaginosas sendo possível utilizar qualquer um dos óleos vegetais seja, por exemplo, culturas nativas como o babaçu, quanto cultivadas como a soja, dendê, mamona e outras. Segundo LADETEL (2005) a possibilidade de produção agrícola dessa ampla quantidade de matérias primas, para a produção de biodiesel, é uma vantagem comparativa que o país possui em relação a todos os outros países produtores de oleaginosas.

Sluszz e Machado (2006) citam que atualmente no Brasil a possibilidade que mais se utiliza é a de culturas já estabelecidas comercialmente como a soja, que mostra condições tecnológicas que possibilitam sua exploração na maioria das regiões do país quando comparada a outras oleaginosas. Segundo Peres e Beltrano (2006) a soja pode ser considerada a cultura que permitiu a abertura do mercado de biocombustíveis baseados em óleos vegetais, possibilitando a inserção de produtos com maior eficiência energética como o caso do girassol e da canola.

Dentro deste contexto a soja é a oleaginosa-chave para o sucesso do Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), desde que sua contribuição seja mantida na faixa de 64-68%, e não 92%, como ocorrem atualmente. Segundo Dias et al. (2009) a redução da grande contribuição da soja implica em ampliar a contribuição de outras matérias-primas que podem ser produzidas pela agricultura familiar, a exemplo do pinhão manso (*Jatropha curcas L.*) e da macaúba (*Acrocomia aculeata*).

A principal vantagem do biodiesel de soja perante aos outros tipos de biodiesel se deve ao fato de que após o processo de transesterificação já se encontra pronto para o consumo, devido ao fato de sua viscosidade se encontrar dentro dos padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), conseqüentemente não necessitando assim de outros processos. Conforme determinação da resolução da ANP nº 7 de 19 de março de 2008 o biodiesel (B100) com relação a viscosidade deve acompanhar os valores padronizados para o óleo diesel fóssil, podendo variar de 3,0 a 6,0 mm².s⁻¹. Atualmente a maioria dos diferentes tipos de biodiesel utilizados, com o

caso da soja, se enquadram na faixa de viscosidade em que se encontram os óleos dieiseis oferecidos no mercado (BRASIL,2008).

Medrano (2007) cita que mesmo não sendo a opção mais atrativa no que se refere à produção de seu óleo, a soja com sua infra-estrutura respondeu com 39% dos 885.000 m³ de biodiesel leiloados em 2006. Em contrapartida diversos fatores desaconselham o uso da cultura da soja para sustentar a produção de biodiesel em grande escala em longo prazo, onde segundo Silva e Freitas (2008) devido ao fato do custo de produção do biodiesel ser três vezes maior que o do óleo diesel de petróleo, há a necessidade de se adotar tecnologias para a redução desses custos principalmente no que se refere à revisão do processo de fabricação do biodiesel de soja, por meio da transesterificação e de medidas mitigadoras de impactos ambientais.

Fator que desaconselha o uso da soja como matéria prima para a produção de biodiesel, é o fato da soja se tratar de uma commodity, no qual o preço está sujeito a sofrer grande influência do mercado internacional. Este fato acaba causando efeitos positivos quanto negativos, principalmente no caso do Brasil, grande produtor mundial dessa cultura. Quando o preço da soja está em alta ocorre a concentração dos esforços para uma maior comercialização com o mercado externo, com isso, os estoques destinados à produção de biodiesel são afetados diretamente (MEDRANO, 2007).

O biodiesel de soja como pode ser visto, apresenta enorme potencial por permitir a abertura de novos mercados para a agricultura tradicional. Apesar disso os efeitos causados no meio ambiente pela produção em larga escala dessa cultura são provocados se forem acompanhados de um aumento de área cultivada. Segundo Pasquis (2004) esse fator acaba sendo uma das desvantagens do biodiesel de soja, pois acaba ocorrendo à restrição da entrada de algumas empresas no mercado levando assim a concentrar o controle do setor de esmagamento em grandes grupos econômicos. Perante esse quadro é possível verificar que a grande desvantagem do biodiesel de soja perante outras oleaginosas como a mamona e o dendê, está na sustentabilidade da cultura, uma vez que a produção dessa cultura é uma atividade excludente e concentradora de renda.

2.5. Biodiesel e as Emissões de Gases Poluentes

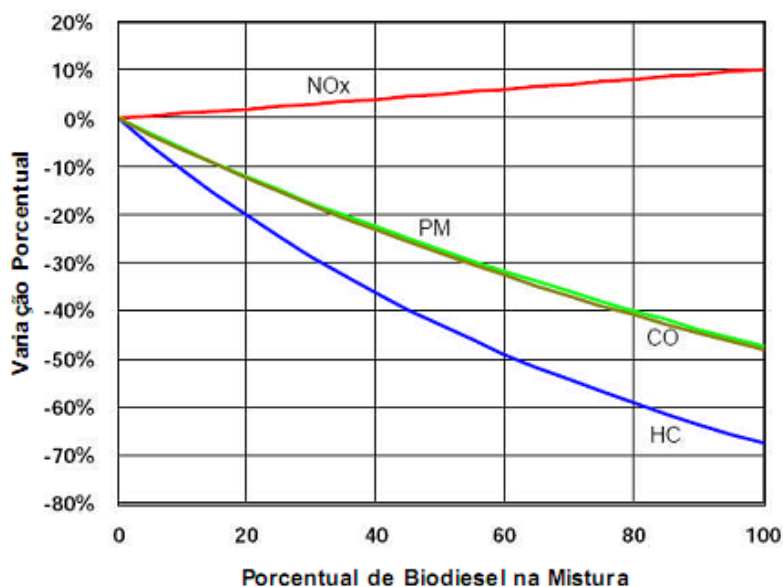
De acordo com o Plano Nacional de Energia, nos últimos 250 anos, a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera aumentou 31%, atingindo os níveis mais altos. A queima de combustíveis fósseis e produção de cimento são

responsáveis por 75% desses gases. Já a abertura de novas áreas com o desmatamento é responsável pelo restante (BRASIL, 2006).

As emissões do motor diesel segundo Miragaya (2005) estão ligadas diretamente à qualidade da queima obtida, sendo que diversas propriedades do diesel influenciam na combustão; no qual o enxofre, por exemplo, acaba influenciando diretamente na emissão de particulados do motor. Santos et al. (2007) e Beltrão (2005) mostraram que o biodiesel é um combustível isento de enxofre, e dessa forma a adição ao óleo diesel atinge as exigências da Agência Nacional de Petróleo (ANP) no que se refere aos limites no teor de enxofre. Outro importante fator, segundo os autores é que o biodiesel apresenta lubricidade maior que o óleo diesel, permitindo a diminuição do teor de enxofre no diesel.

Chang et al. (1996) cita que o biodiesel apresenta outras vantagens ambientais além das reduções na emissão dos compostos sulfurados, como por exemplo, fortes reduções na emissão de hidrocarbonetos (HC) e compostos aromáticos, monóxido de carbono (CO) e material particulado (PM). Em contrapartida o mesmo autor menciona que a utilização do biodiesel acarreta um aumento na emissão de óxidos de nitrogênio.

O estudo da USEPA (2002) mostra as diferenças percentuais das emissões de derivados de enxofre, hidrocarbonetos, monóxido de carbono, material particulado e óxidos de nitrogênio para diferentes misturas de diesel e biodiesel, conforme a Figura 2.



Fonte: USEPA, 2002.

FIGURA 2. Efeito da mistura diesel/biodiesel na emissão de poluentes.

Conforme Romero e Miralles (2002) o uso de biocombustíveis como o biodiesel, repercute de uma maneira geral como uma redução na emissão de contaminantes. Deve-se isso pela ausência de enxofre e cloro na sua composição permite uma redução nos níveis de emissão de SO₂, CO, hidrocarbonetos não queimados e material particulado.

O uso do biodiesel na forma pura (B100) segundo Nascimento e Dallan (2007), resulta em diminuição de 46% na emissão de dióxido de carbono, 68% na de fumaça preta, 36% na de hidrocarbonetos não queimados e 100% na de enxofre.

2.5.1. Ensaios para avaliação e determinação da emissão de poluentes

Avaliando a emissão de gases (CO₂, NO_x e CO) em um motor de compressão AGRAL M-790 utilizando diesel mineral, biodiesel de soja e biodiesel de óleo e gorduras residuais (OGR), Santos et al. (2007) verificaram que quando utilizado o biodiesel de OGR ocorreu um aumento de 5,73 % na emissão de CO₂ enquanto que o biodiesel de soja apresentou redução de 1,85% em comparação ao diesel mineral. As emissões de CO do biodiesel de OGR apresentaram um aumento de 56,24% frente ao diesel mineral. Já o biodiesel de soja apresentou uma diminuição de 17,13% nos índices de CO. Quando avaliada a emissão de NO_x o biodiesel de OGR apresentou diminuição em relação ao diesel mineral, em contrapartida quando utilizado o biodiesel de soja ocorreu um aumento de 10,45% nos índices de NO_x, comprovando assim que é viável a utilização do biodiesel de soja na diminuição da emissão de poluentes.

Laurindo (1998) testou na frota de transporte coletivo da cidade de Curitiba a utilização do biodiesel de soja, onde foi misturado ao diesel convencional na proporção de 20%, objetivando verificar a eficiência desse combustível na redução dos níveis de poluição. Os valores obtidos apresentaram redução média de 35% na emissão de fumaça, onde foram testados em vinte ônibus de diferentes marcas, durante três meses consecutivos.

Segundo Torres et al. (2006) , testes com um motor Agrale, modelo M-85 tipo estacionário, monocilíndrico com 7,36 kW de potência, não ocorreram diferenças entre a utilização do óleo diesel e o biodiesel (B100), apresentando resultados semelhantes. O consumo específico do B100 foi cerca de 20% superior ao do diesel; nas emissões de CO₂ não houve alteração porem as emissões de CO foram muito maiores para a potência de 4 kW.

Avaliando um motor gerador alimentado com biodiesel de soja (B 100) e diesel convencional, Penteado et al. (2007) verificaram que utilizando B100 houve redução de CO, HC e fuligem, ocorrendo nesse caso maior emissão de NO_x. Com relação ao teste de durabilidade, com o aumento da potência requerida pelo motor, o funcionamento com o diesel e o B100 se mostrou semelhante. Para os níveis de HC, no biodiesel foi observada uma pequena redução, enquanto que a utilização do diesel ocorreu o inverso.

Mazieiro et al. (2005) analisaram os níveis de emissão de poluentes utilizando óleo diesel metropolitano e biodiesel de éster etílico de óleo de girassol (EEOG) como combustíveis. O ensaio foi realizado em um motor MWM modelo 407TCA (92 kW a 3.200 rpm) de injeção direta. Com o uso de EEOG, as emissões de CO e HC e material particulado foram reduzidas em 32,2%, 31,0% e 41,0%, respectivamente; enquanto que a concentração de NO_x foi elevada em 5,7%. As emissões de HC e CO, reduzidas com o uso de EEOG, podem ter seus valores reduzidos ainda mais com a definição de valores adequados de ponto de injeção e taxa de dosagem nas diferentes condições de carga e rotação do motor. Os autores descrevem que providência dessa mesma natureza pode ser adotada com o objetivo de reduzir as concentrações mais elevadas de NO_x observadas com o uso de EEOG.

2.6. Preparo do Solo

A mecanização na agricultura tem como função primordial melhorar as condições e a produtividade de trabalho das tarefas destinadas à produção. Como em qualquer atividade que envolve custos elevados e que altera o ambiente natural, devendo ser realizada após um cuidadoso planejamento, visto que, de acordo com Gamero (1991) em muitos casos a utilização das práticas de preparo do solo são mais influenciadas pela tradição e intuição do que por uma análise mais racional.

Segundo Furlani (2000) é extremamente difícil a escolha do sistema de preparo do solo, principalmente devido às variações dos diversos tipos de solos, teores de água, coberturas vegetais sobre a superfície, culturas a serem utilizadas, níveis tecnológicos e método de conservação, dentre outras variáveis existentes.

Lucarelli (1997) descreve que os sistemas de preparo do solo são divididos em dois grandes grupos: sistema convencional e sistema conservacionista. O sistema convencional de preparo do solo, segundo Derpsch et al. (1991), consiste de uma

aração, caracterizada como preparo primário do solo, seguida da operação de gradagem para o destorroamento e nivelamento da área, também conhecidas como preparo periódico do solo.

No preparo periódico do solo são bastante utilizadas as grades-aradoras, pelo fato de que esse implemento possibilita grandes larguras de corte e maior eficiência que arados . Segundo Stolf et al.(2008) a gradagem é o método mais utilizado para a mobilização do solo atualmente, sendo realizado por grades médias (intermediárias) ou grades pesadas (aradoras) para a descompactação das camadas superiores e corte do material vegetal.

Desde que o emprego de máquinas e implementos agrícolas montados ou de arrasto passou a ser difundido, tornou-se preocupação de vários pesquisadores e empresas, a quantificação dos esforços necessários ao arraste de implementos, além de consumo de combustível em tratores agrícolas (SILVA et al., 1999). Segundo Salvador et al. (2009) ensaios de desempenho de tratores com biodiesel em preparo de solo, as operações realizadas com grades- aradoras apresentam de um modo geral maior consumo específico de combustível.

A potência requerida pelo conjunto trator – implemento está diretamente relacionada com a velocidade e profundidade de operação. Cortez et al.(2007) avaliaram biodiesel etílico de soja em trator agrícola, onde acoplada a barra de tração foi utilizada uma grade aradora de arrasto equipada com discos recortados. Os autores observaram que nessa condição o aumento da proporção de biodiesel no diesel, como o aumento da velocidade de operação resultaram em aumento da potência necessária e do consumo de combustível.

Lopes et al. (2004) verificando o desempenho de tratores com biodiesel etílico de óleo de soja em operação de preparo do solo, encontrou força média imposta na barra de tração de 18 kN. Os autores observaram ainda que com o uso do biodiesel até 50% de mistura, não alterou o consumo específico, entretanto, quando se utilizou 100% de biodiesel, o consumo específico aumentou 11 %, sem apresentar nenhum tipo de anomalia no funcionamento do motor.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Características Gerais

O experimento de campo foi conduzido nas dependências do Aeroporto municipal localizado na Rua Francisco Voalois, S/N, Anápolis – GO, coordenadas geográficas de 17°43'19" latitude Sul e 48°09'35" longitude Oeste e altitude de 1017 m.



FIGURA 3. Vista geral área utilizada para a realização dos ensaios de campo.

Segundo a classificação de Köppen, o município de Anápolis- GO apresenta clima Aw, com características climáticas quentes, úmidas a semi-árido. A temperatura média anual do ar é de 25,0°C, e o mês de junho apresenta a menor média de temperatura mínima do ar (20,5°C), enquanto o mês de setembro apresenta a maior média de temperatura máxima do ar (31,4°C). O regime pluvial é bem definido, ou seja, período chuvoso de novembro a março e período seco de maio a setembro. A precipitação média anual é 1750 mm, e a umidade relativa do ar, média anual, é de 61% (SEPIN, 2009).

Os testes foram realizados em solo com classificação textural Latossolo Vermelho Amarelo, onde antes da realização do ensaio foi feita a caracterização física,

apresentada na Tabela 2, onde foi determinada a resistência à penetração (ASABE,2006), densidade do solo (EMBRAPA, 1997) e o teor de água.

TABELA 2. Características do solo da área utilizada para a realização do ensaio

Característica	Valor
Resistência à penetração	1,05MPa
Densidade do solo	1028 kg.m ⁻³
Teor de água	17 %

3.2. Caracterização das máquinas

3.2.1. Trator

Para a realização dos ensaios foi utilizado um trator agrícola da marca New Holland modelo TT4030, com tração dianteira auxiliar, motor ciclo diesel, aspiração natural quatro tempos, sistema de injeção com bomba rotativa, refrigerado a água, com quatro cilindros, com cilindrada total de 3908 cm³, potência nominal segundo a NBR 1585 de 55,1 kW (75 cv), rodados equipados com pneus radiais dianteiros e traseiros.

3.2.2. Grade aradora

Com o intuito de oferecer resistência à barra de tração utilizou-se uma grade aradora de arraste, mostrada na Figura 4. Foi utilizada no experimento uma grade de dupla ação, marca Tatu Marchesan, modelo ATCR, 1556 Kg de peso, dotada com 14 discos, largura de corte mínima de 1500 mm, discos de 28 polegadas de diâmetro e 6 mm de espessura. Por se tratar de um mecanismo amplamente utilizado no preparo periódico dos solos de cerrado, foi escolhido esse implemento pela necessidade de grande demanda de força para a realização da operação.

3.2.3. Velocidade de operação do Conjunto mecanizado

A velocidade operacional do conjunto mecanizado foi calculada a partir da equação descrita por Fernandes et al. (2007), onde foi obtida por meio do tempo gasto necessário para o conjunto mecanizado percorrer o percurso útil de cada parcela

experimental. Verificou-se que em média a velocidade operacional do conjunto mecanizado para os diferentes tratamentos avaliados foi de 4,1 Km.h⁻¹.



FIGURA 4. Trator e grade aradora utilizada nos ensaios de campo.

3.3. Combustíveis utilizados

O óleo diesel utilizado para a realização do ensaio foi obtido na rede de abastecimento local, sendo classificado pela agência nacional de petróleo (ANP) como diesel automotivo interior ou tipo B, sendo o mesmo indicado para o uso em motores ciclo diesel e instalações de aquecimento de pequeno porte.

Com relação ao biodiesel utilizou-se o éster etílico de soja, onde o mesmo foi produzido a partir da transesterificação de óleo de soja, e fornecido por uma empresa comercial produtora deste tipo de combustível, localizada no município de Anápolis-GO. Na Figura 5 são apresentadas, em ordem crescente, os diferentes percentuais de biodiesel misturados ao diesel nas amostras utilizadas, sendo os valores da mistura expressos em termos de volume.

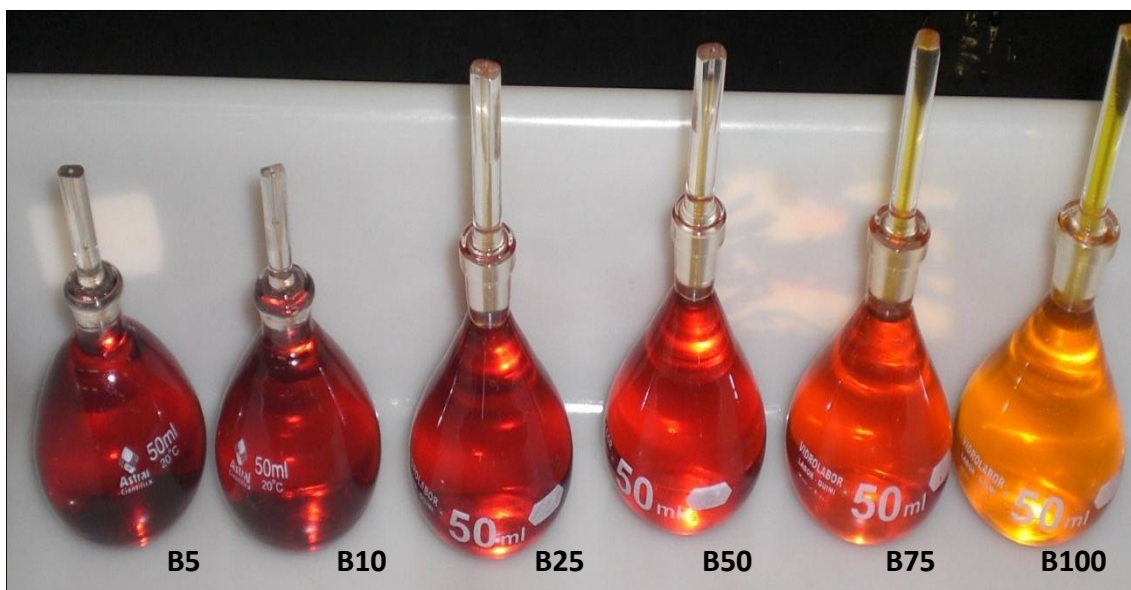


FIGURA 5. Diferentes concentrações de biodiesel misturado ao diesel utilizados no motor do trator.

3.3.1. Propriedades físico-químicas das misturas de combustível

A determinação das propriedades físico-químicas dos combustíveis utilizados é de grande importância, principalmente por permitir uma melhor compreensão e controle dos processos. Dessa forma é possível verificar algumas propriedades físicas dos combustíveis utilizados no ensaio na Tabela 3.

TABELA 3. Propriedades físico-químicas das amostras utilizadas no ensaio

Propriedades	B5	B10	B25	B50	B75	B100
Massa específica ρ (Kg.m ⁻³) a 20°C	850,7	853,3	857,4	864,7	872,8	881
Viscosidade cinemática ν (cP) a 20°C	1,835	1,947	2,059	2,111	2,319	2,535
Índice de acidez (IA) (mgKOH.gcombustível ⁻¹)	0,5137	0,5197	0,5244	0,5296	0,5354	0,5357

Todas as propriedades físico-químicas (massa específica, viscosidade cinemática e índice de acidez) foram determinadas no laboratório de Enzimologia da Universidade Estadual de Goiás, em Anápolis, GO. Dessa forma foi possível verificar que todas as

misturas ensaiadas estavam em conformidade com as especificações da Agência Nacional de Petróleo em vigor (BRASIL, 2008) presentes Anexo A.

3.4. Delineamento Experimental

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, em que a parcela foi constituída por seis concentrações de biodiesel (B5, B10, B25, B50, B75, B100), e as subparcelas constituídas de quatro profundidades de atuação da grade aradora (0,11; 0,13; 0,16 e 0,182 m). O delineamento foi em blocos ao acaso, com três repetições.

A área experimental foi dividida em três blocos com 24 parcelas cada, totalizando 72 parcelas experimentais com uma área de 125 m² (50 x 2,5 m), com espaçamento de 15 m entre os blocos, utilizado para manobra do conjunto trator/grade aradora. Os dados de força de tração e emissão que foram submetidos à análise estatística estavam compreendidos dentro da área útil de cada unidade experimental, sendo assim, os cinco primeiros e os cinco últimos metros não foram levados em consideração para efeito de análise, funcionando somente como bordadura. Já os dados de patinagem e de consumo foram coletados dentro da unidade experimental.

3.5. Determinação da profundidade de corte

Após a operação de gradagem, foi retirado o solo com o auxílio de uma enxada na região descompactada pelos mecanismos de corte da grade aradora e medidas as profundidades em três pontos correspondendo ao início, ao meio e o fim de cada parcela experimental, determinando assim a profundidade média. Para a realização da leitura uma régua foi posicionada na posição horizontal do sulco, onde a partir desta era posicionada outra régua até a extremidade mais profunda, permitindo a avaliação da profundidade efetiva de trabalho.

3.6. Patinagem da roda motriz do trator

A patinagem das rodas motrizes do trator foi determinada comparando a distância linear percorrida com o trator sem carga e em condição de trabalho, onde na realização do presente estudo não foi utilizado o acionamento da tração dianteira

auxiliar (TDA). Foi estabelecido um referencial do trator, e quando este coincidia com a baliza de início da parcela, onde era contado o número de voltas. O procedimento era interrompido ao decorrer-se os 50 m, no qual o ponto de referencia adotado coincidia com a baliza de término da parcela. Ao passar pela primeira estaca foi feita uma marcação na roda e acompanhada, contando o número de voltas completas realizada pelo pneu, até o fim da parcela onde foi feita outra marcação e medida a distância entre as marcações acompanhando o perímetro do pneu.

3.7. Determinação da força na barra de tração

Para a obtenção da força de tração na barra, fez-se o uso de célula de carga da marca Excel, modelo RS-5000, construída em aço de baixa liga, com tratamento térmico e propriedades mecânicas controladas, apresentando formato em S, temperaturas de utilização entre -5 a 60 °C e alimentação recomendada de 6 a 10 Vcc. A capacidade nominal do modelo é de 5000 kgf, com possibilidade de sobrecarga admissível para atuações esporádicas e eventuais de até 150% da carga nominal. Os valores de força de tração foram obtidos diretamente em quilograma força (kgf) e coletados e armazenados pelo sistema de aquisição de dados.

No laboratório de protótipos da Universidade Estadual de Goiás foi desenvolvida uma barra de tração (Figura 6), onde em seu interior foi possível acomodar a célula de carga entre o trator e o cabeçalho da grade aradora, permitindo assim, que toda a força de tração fosse recebida diretamente pela célula.

Modelo semelhante foi desenvolvido por Russini (2009), onde o autor cita que esse mecanismo possibilitou que a célula de carga fosse protegida contra impactos causados pelo implemento em situações de desaceleração, manobras e transferência de peso, fazendo com que possíveis valores falsos de força de tração não fossem obtidos.



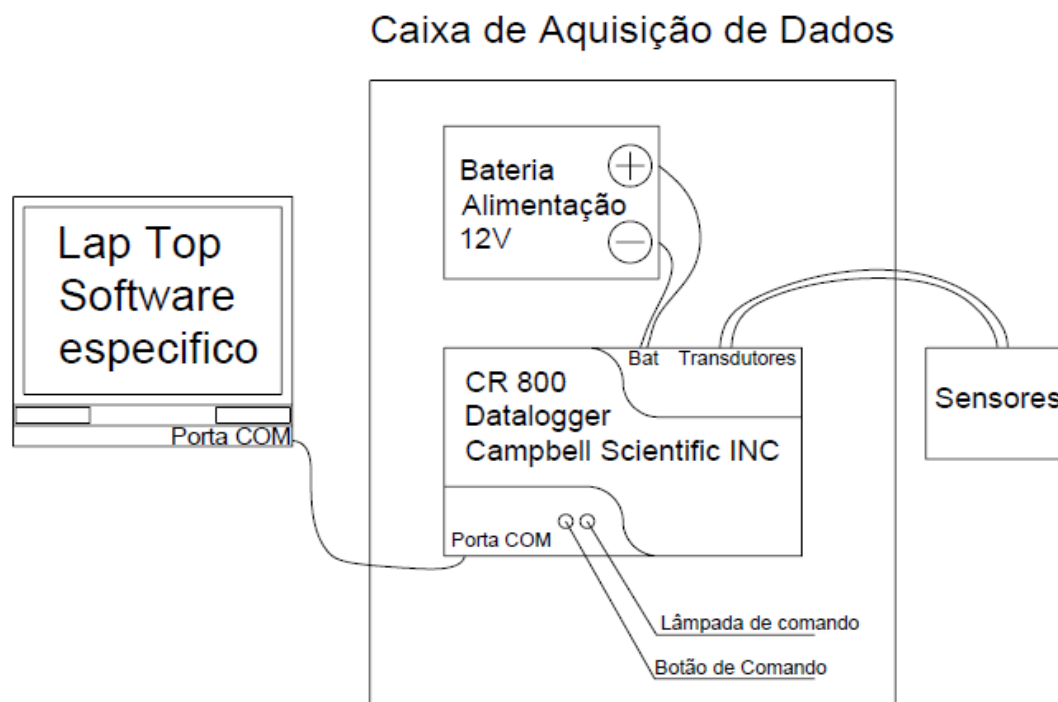
FIGURA 6. Barra de tração equipada com mecanismo de proteção para a célula de carga.

3.7.1. Sistema de aquisição de dados

Os dados foram armazenados em um *datalogger*, modelo CR800 da marca *Campbell Scientific INC*, com capacidade de monitorar e gravar os dados obtidos em campo, sendo alimentado por uma bateria de 12 volts e 7 Ah.

O sistema de leitura, aquisição e armazenamento dos dados podem ser visto na Figura 7. O esquema de montagem compreende a caixa de aquisição de dados (controle e armazenamento dos dados), sensor (célula de carga) e o computador para a conversão e armazenamento dos dados obtidos.

A aquisição dos dados foi realizada por meio de um programa desenvolvido pelo software PC 200W version 4.0, disponibilizado pela empresa *Campbell Scientific INC*.



Fonte: DELMOND, 2009.

FIGURA 7. Esquema de aquisição de dados para a grade aradora em operação de preparo do solo.

O *datalogger* foi programado para alimentar com uma tensão de 9 V de corrente contínua. Os dados de tensão foram adquiridos na frequência de uma leitura por segundo durante a operação da grade aradora nas parcelas experimentais. O equipamento foi ligado cerca de 20 segundos antes do conjunto mecanizado entrar na parcela experimental para a estabilização da leitura, em seguida o trator iniciava a operação até o fim da parcela experimental.

Ao final do ensaio os valores de tensão foram transferidos para um computador portátil, onde os valores da bordadura foram retirados e posteriormente os valores presentes na área útil das parcelas estudadas convertidos para unidade de força, através da equação de calibração da célula de carga.

3.7.2. Calibração da célula de carga

A calibração da célula de carga foi realizada no Laboratório de Resistência dos Materiais da Universidade Estadual de Goiás (UEG), sendo esse procedimento necessário para a calibração do sistema transdutor de força, como também, para a conversão de valores de força em valores de tensão.

A célula de carga foi presa a uma prensa hidráulica, conforme a Figura 8, munida de todo o sistema de aquisição de dados programada, igualmente as condições utilizadas no campo, para coletar dados a uma frequência de uma leitura por segundo e alimentação do circuito transdutor com 9,05 V.



FIGURA 8. Célula de carga acoplada à prensa para a calibração e conversão de valores de tensão em força.

A célula de carga foi submetida a cargas conhecidas, onde os valores de tensão adquiridos foram submetidos ao teste de regressão para a construção da curva característica que melhor se ajustava os dados, respeitando o comportamento de deformação do metal. Dentro desse contexto a equação linear $y = 190,14 x + 113,78$ se mostrou satisfatória para explicar o comportamento da deformação da barra de tração, como também, explicando mais de 98% dos dados, representado pelo R^2 .

3.7.3. Determinação da potência média na barra de tração

Com os valores de força coletados no campo e a velocidade operacional do conjunto mecanizado em cada parcela, foi possível estimar a potência média na barra de tração por meio da Equação 1.

$$Pb = \frac{Fmbt.V}{366,97} \quad (1)$$

em que,

Pb – Potência média na barra de tração, (kW);

Fmbt - Força média na barra de tração, (Kgf); e

V- Velocidade média operacional, (km.h⁻¹).

3.8. Consumo de Combustível

Para avaliar o consumo das diferentes misturas de diesel com biodiesel durante os ensaios, foi empregado um medidor volumétrico, como descrito por Barbosa (2006), constituindo de um recipiente graduado e de registros que tem como função controlar a circulação do combustível. O esquema de funcionamento do sistema de medição de consumo pode ser visto na Figura 9.

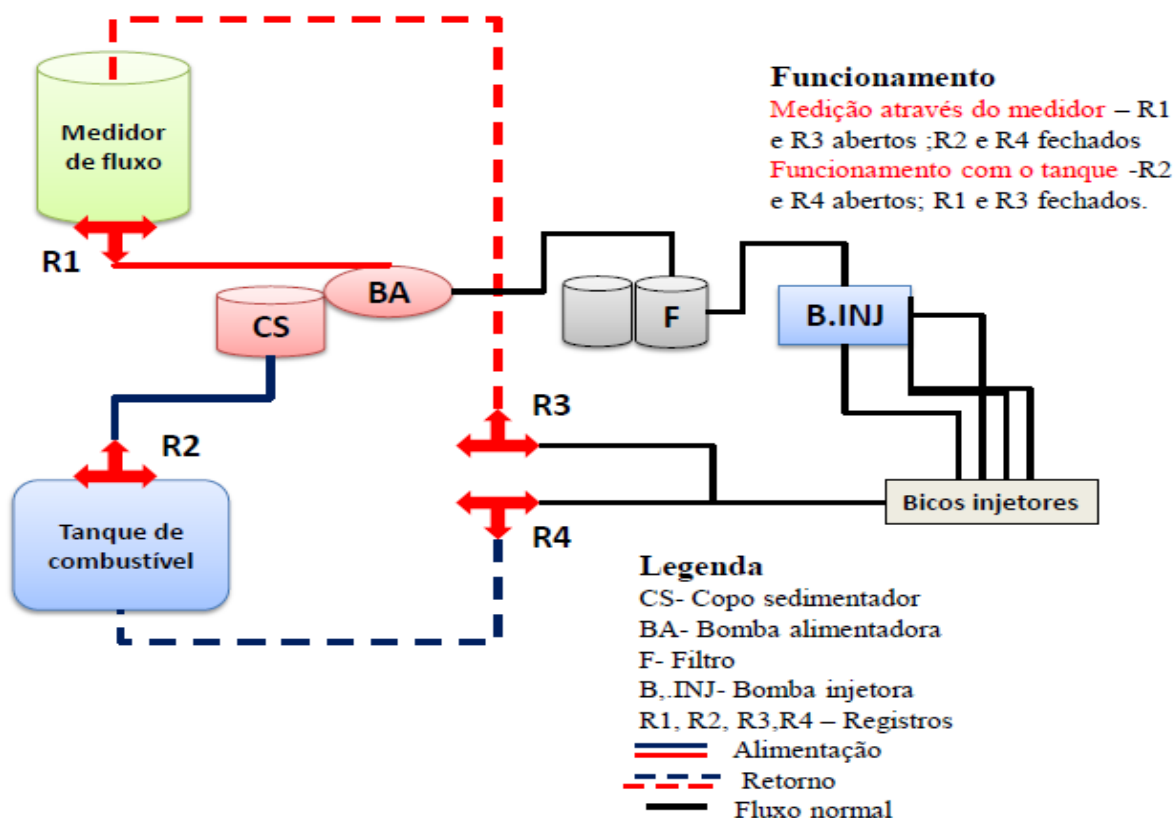


FIGURA 9. Fluxograma do sistema de medição de combustível.

O volume consumido pelo motor foi obtido pela diferença de nível de combustível no recipiente entre o início e o fim de cada parcela experimental. A graduação do recipiente utilizado foi dividida em milímetros, permitindo a leitura e obtenção do volume por meio da correspondência volumétrica do recipiente, que era de $4,0715 \text{ mL.mm}^{-1}$.

A saída do combustível excedente proveniente do retorno do bico injetor e da bomba injetora foi posicionada sobre o recipiente graduado utilizado, permitindo desta forma, que o volume de combustível avaliado fosse realmente aquele disponibilizado ao motor para geração de potência.

Outra providencia tomada na realização do experimento foi na alteração dos combustíveis. Quando necessária a troca de combustível, todos os registros do sistema de alimentação eram fechados, de tal maneira que o motor consumisse todo o combustível presente nas mangueiras e no filtro. Após o procedimento descrito o registro do tanque auxiliar foi aberto, possibilitando a utilização do próximo combustível.

Dessa forma foi realizado o consumo de 800 ml pelo motor, da nova mistura de combustível, antes de quantificar as variáveis de análise. Servindo para a adaptação do sistema de alimentação do motor e eliminar o efeito dos ensaios já realizados com combustível anterior.

3.8.1. Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível segundo Lopes (2003), pode ser expresso como unidade de volume por unidade de tempo, onde não ocorre relação com a variação de temperatura do combustível e a potência gerada. O consumo no ensaio foi determinado através da diferença de nível do recipiente graduado no percurso de cada parcela experimental, conforme a Equação 2.

$$Ch = \frac{(hc.cv).3,6}{T} \quad (2)$$

em que,

Ch – Consumo horário, (L. h^{-1});

hc - Altura de consumo, (mm);

cv – Correspondência volumétrica, (4,0715 ml.mm⁻¹); e

T – Tempo percurso na parcela, (s).

3.8.2. Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível expressa o consumo de combustível por unidade de potência na barra de tração foi calculado a partir da Equação 3, descrita por Mialhe (1996).

$$Ce = \frac{Ch}{Pb} \cdot \rho \quad (3)$$

em que,

Ce – Consumo específico de combustível, (g kW.h⁻¹);

Ch – Consumo horário, (L. h⁻¹);

Pb – Potência média na barra de tração, (kW); e

ρ – Densidade do combustível, (g.L⁻¹).

3.9. Determinação das emissões de gases poluentes

A análise e a determinação dos gases emitidos pelo motor foram realizadas de acordo com as normas MB 1615 (ABNT, 1990), referente à delimitação dos gases emitidos por motor diesel – medição do teor de fuligem com amostrador por elemento filtrante, como também a NBR 14489 (ABNT, 2000), referente à análise e determinação dos gases e do material particulado emitidos por motores ciclo diesel – ciclo 13 pontos.

Para a realização do experimento foi utilizado um monitor ambiental de combustão e de emissão de gases da marca KANE, modelo 940 portátil, acoplado ao sistema de exaustão do trator, Figura 10. O equipamento permitiu a aquisição dos dados e análise simultânea de cinco parâmetros (O₂, CO, CO₂, NO_x, SO_x). Pode-se verificar a eficiência de combustão do motor, como também a emissão dos gases poluentes provenientes da combustão das diferentes misturas biodiesel/ óleo diesel propostas.



FIGURA 10. Em sentido horário: detalhe no visor do monitor no momento da leitura, posição do termopar no escapamento da máquina, vista frontal do monitor ambiental de combustão e emissão de gases utilizado no ensaio.

Alguns parâmetros como os níveis de oxigênio (O_2), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO_2) foram determinados pelo equipamento, onde os mesmos possibilitaram verificar se o processo de combustão estava sendo realizado de maneira satisfatória, como também, possibilitou a verificação do excesso de ar, visto que o processo de combustão e as perdas estão diretamente relacionados com esses três parâmetros analisados.

Através de outro sensor disponível no equipamento utilizado, foi possível avaliar os níveis de emissões de óxidos de enxofre (SO_x) e óxidos de nitrogênio totais (NO_x), formados em função da carga de trabalho e da temperatura da câmara de combustão.

3.10. Análise estatística

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância aplicando-se teste F a 5% de probabilidade. Quando significativos, por se tratarem de dados quantitativos, foram analisados por meio de estudo de regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Emissões de gases

O resultado da análise de variância para as variáveis relacionadas às emissões de gases no processo de combustão podem ser vistas na Tabela 4. O tipo de combustível, quando analisado de forma independente, não provocou efeito significativo nas variáveis descritas, com exceção nas emissões de óxidos de enxofre (SO_x). Para as emissões de monóxido de carbono (CO) a interação entre a profundidade de trabalho e o combustível utilizado foi significativa. A emissão de oxigênio (O_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e dióxido de carbono (CO_2) não sofreram interferência significativa das fontes de variação estudadas.

TABELA 4. Resumo da análise de variância das variáveis expresso pelo quadrado médio: emissão de oxigênio (O_2), dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e óxidos de enxofre (SO_x).

QM						
FV	GL	O_2	CO_2	NO_x	CO	SO_x
Bloco	2	0,18	0,222	1895083,8	54874,8	3505,1
Combustível	5	1,78	1,122	4486343,2	175463,9	187413,9*
erro 1	10	1,98	1,488	1992747,1	60382,3	20452,6
Profundidade	3	1,125	0,259	2260822,6	10721,2	1393,6
Prof *Comb	15	1,336	0,803	1751329,7	28615,4 *	2784,8
erro 2	36	1,162	0,518	1624104,6	13382,9	3435,4
	CV1=	10,54	21,32	162,49	72,38	73,29
	CV2=	8,08	12,58	146,69	34,08	30,04
	Média	13,34	5,72	868,78	339,48	195,13

*Significativo pelo teste f, a 5% de probabilidade.

4.1.1. Emissões de Oxigênio (O_2)

Na Tabela 5 são apresentados os valores das emissões de oxigênio. Analisando os resultados nota-se que não houve diferença significativa para os tratamentos avaliados. De acordo com os valores médios é possível determinar que as emissões de oxigênio aumentaram em 4,55% quando utilizado o biodiesel na forma pura (B100).

Comportamento semelhante foi obtido por Correia et al. (2008). Segundo os autores o aumento nas emissões de oxigênio, quando utilizado em maiores concentrações de biodiesel, se deve ao fato de o biodiesel apresentar maior quantidade de cadeias oxigenadas.

Já Oliveira et al. (2005) mostram que esse comportamento confere ao biodiesel uma maior eficiência no processo de combustão, principalmente por possuir maiores quantidades de moléculas de oxigênio livres devido a adição de álcool no seu processo de produção.

Outra vantagem relacionada ao aumento da eficiência de combustão promovida pela maior quantidade de oxigênio esta relacionada com a diminuição das emissões de materiais particulados. Segundo Graboski & McCormick (1998) o material particulado é formado pela pirólise dentro da câmara de combustão e devido à maior quantidade permite uma melhor queima de combustível, reduzindo assim as emissões.

TABELA 5. Valores médios das emissões de oxigênio (%) em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados no diesel e das diferentes profundidades de trabalho da grade aradora.

Combustível	P1	P2	P3	P4
B5	13,1 ± 0,6	13,0 ± 0,6	13,3 ± 0,2	13,2 ± 0,3
B10	14,9 ± 0,6	13,6 ± 0,6	13,0 ± 0,2	13,5 ± 0,3
B25	12,7 ± 0,6	13,2 ± 0,6	12,6 ± 0,2	12,6 ± 0,3
B50	12,9 ± 0,6	12,7 ± 0,6	13,0 ± 0,2	13,8 ± 0,3
B75	13,9 ± 0,6	13,4 ± 0,6	13,1 ± 0,2	13,0 ± 0,3
B100	13,6 ± 0,6	15,3 ± 0,6	13,4 ± 0,2	13,1 ± 0,3
Média	13,5 ± 0,6	13,5 ± 0,6	13,0 ± 0,2	13,2

A ausência de letras indica que os tratamentos não diferiram estatisticamente pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

4.1.2. Emissões de dióxido de carbono (CO₂)

Mesmo não sendo estatisticamente significativa a diferença entre os tratamentos, as emissões de dióxido de carbono (CO₂) quando relacionadas ao aumento de profundidade de trabalho apresentou maiores valores médios. Segundo Mazieiro et al. (2006) esse aumento pode ser explicado pelo fato de o biodiesel possuir maior quantidade de oxigênio em sua composição, visto que, a maior quantidade desse comburente na câmara de combustível desloca a reação de combustão no sentido de se produzirem maiores quantidades de dióxido de carbono.

Na Tabela 6 é possível verificar o efeito do aumento da concentração de biodiesel nas emissões de dióxido de carbono. De acordo com os valores obtidos verifica-se que ocorreu um decréscimo nas emissões de 8,62 % quando comparado com o diesel automotivo interior (B5).

Dessa forma os resultados corroboram com os obtidos por Santos et al. (2007) e Schumacher et al.(2001), que estudando as características da emissão de poluentes em testes dinâmicos em um motor de compressão, utilizando óleo diesel, biodiesel e diferentes misturas diesel/biodiesel verificaram que com o aumento da concentração de biodiesel nas misturas permitiu uma redução nos níveis de emissão desse gás.

TABELA 6. Valores médios das emissões de dióxido de carbono expressos (%) em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados ao diesel e das profundidades de trabalho da grade aradora.

Combustível	P1	P2	P3	P4
B5	5,8 ± 0,5	6,0 ± 0,5	5,6 ± 0,3	5,9 ± 0,2
B10	4,5 ± 0,5	5,4 ± 0,5	6 ± 0,3	5,6 ± 0,2
B25	6,2 ± 0,5	5,9 ± 0,5	6,3 ± 0,3	6,2 ± 0,2
B50	6,0 ± 0,5	6,2 ± 0,5	6,3 ± 0,3	5,4 ± 0,2
B75	5,1 ± 0,5	5,7 ± 0,5	5,8 ± 0,3	6,0 ± 0,2
B100	5,4 ± 0,5	4,3 ± 0,5	5,6 ± 0,3	5,8 ± 0,2
Média	5,5 ± 0,5	5,6 ± 0,5	5,9 ± 0,3	5,8 ± 0,2

A ausência de letras indica que os tratamentos não diferiram estatisticamente pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

4.1.3. Emissões de óxidos de nitrogênio (NOx)

A Tabela 7 apresenta os valores médios para as emissões de óxidos de nitrogênio (NOx). Mesmo não significativos os valores permitem verificar que houve tendência de aumento das emissões com o aumento da profundidade de trabalho e com o aumento na concentração de biodiesel na mistura.

Segundo Mazieiro et al. (2006) o aumento efetivo nas emissões de óxidos de nitrogênio deve-se principalmente aos pontos de cargas efetivas, no caso o aumento da profundidade de trabalho, em que os menores atrasos químicos da combustão do biodiesel facilitam a liberação de calor, dessa maneira a câmara de combustão atinge valores maiores de temperatura potencializando a formação de óxidos de nitrogênio.

Com relação ao aumento das emissões em função da concentração de biodiesel, houve aumento de 78,5% nas emissões de óxidos de nitrogênio quando utilizado o

biodiesel de soja puro. Santos et al. (2007) citam que esse aumento deve-se principalmente pelo alto índice de oxigênio, por se tratar de um produto de origem vegetal.

Krahl et al. (2006) afirmam que as emissões de óxido de nitrogênio são aumentadas com a utilização de ésteres, caso a administração do motor não seja alterada, sendo considerado o principal problema junto a emissão de material particulado, caracterizando os pontos críticos quando da utilização de biodiesel em motores diesel.

TABELA 7. Valores médios das emissões de óxidos de nitrogênio expressos em ppm (partes por milhão) em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados no diesel e diferentes profundidades de trabalho da grade aradora.

Combustível	P1	P2	P3	P4
B5	602,7 ± 157,1	592 ± 135,5	544 ± 177,3	929,7 ± 213,5
B10	413,3 ± 157,1	541,3 ± 135,5	606,7 ± 177,3	590,3 ± 213,5
B25	659,7 ± 157,1	622,7 ± 135,5	662,3 ± 177,3	662,7 ± 213,5
B50	636,3 ± 157,1	657,7 ± 135,5	699 ± 177,3	597,7 ± 213,5
B75	507 ± 157,1	637 ± 135,5	592,7 ± 177,3	643,7 ± 213,5
B100	1127 ± 157,1	1098 ± 135,5	1259,3 ± 177,3	1278,3 ± 213,5
Média	657,6 ± 157,1	691,4 ± 135,5	727,3 ± 177,3	783,7 ± 213,5

A ausência de letras indica que os tratamentos não diferiram estatisticamente pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

4.1.4. Emissões de monóxido de carbono (CO)

Como mostrado na Tabela 4, houve efeito significativo da interação entre os diferentes combustíveis avaliados e a profundidade de trabalho da grade aradora. De acordo com a superfície de resposta presente na Figura 11 é possível observar que o aumento de percentual de biodiesel ao diesel apresentou menor emissão de monóxido de carbono (CO), já o aumento da força proporcionada pelo aumento da profundidade de trabalho da grade aradora também reduziu a emissão de monóxido de carbono, embora em menor intensidade.

Esse resultado corrobora com os obtidos por Muñoz et al. (2004) e Santos et al. (2007) que encontraram menores emissões de monóxido de carbono com a utilização de biodiesel puro ou misturas do que com a utilização de diesel.

Kegl (2008) atribui a redução na emissão de monóxido de carbono às câmaras de combustão em separado, pois as mesmas incrementam a turbulência da mistura e

acabam produzindo uma combustão mais completa e, conseqüentemente as emissões de monóxido de carbono são reduzidas de maneira significativa nos gases de exaustão.

Para Usta (2005) a redução nas emissões de monóxido de carbono em função do uso de biodiesel está relacionada com o maior número de oxigênio em peso em relação ao diesel (B5), que servem para auxiliar na oxidação dos produtos da combustão presentes no cilindro. Porém de acordo com Machado (2008), as reduções nas emissões desse gás estão relacionadas principalmente a uma melhor conversão dos produtos da combustão, em função de uma maior pulverização do combustível, aliado ao maior número de cetano presente nas misturas diesel/ biodiesel.

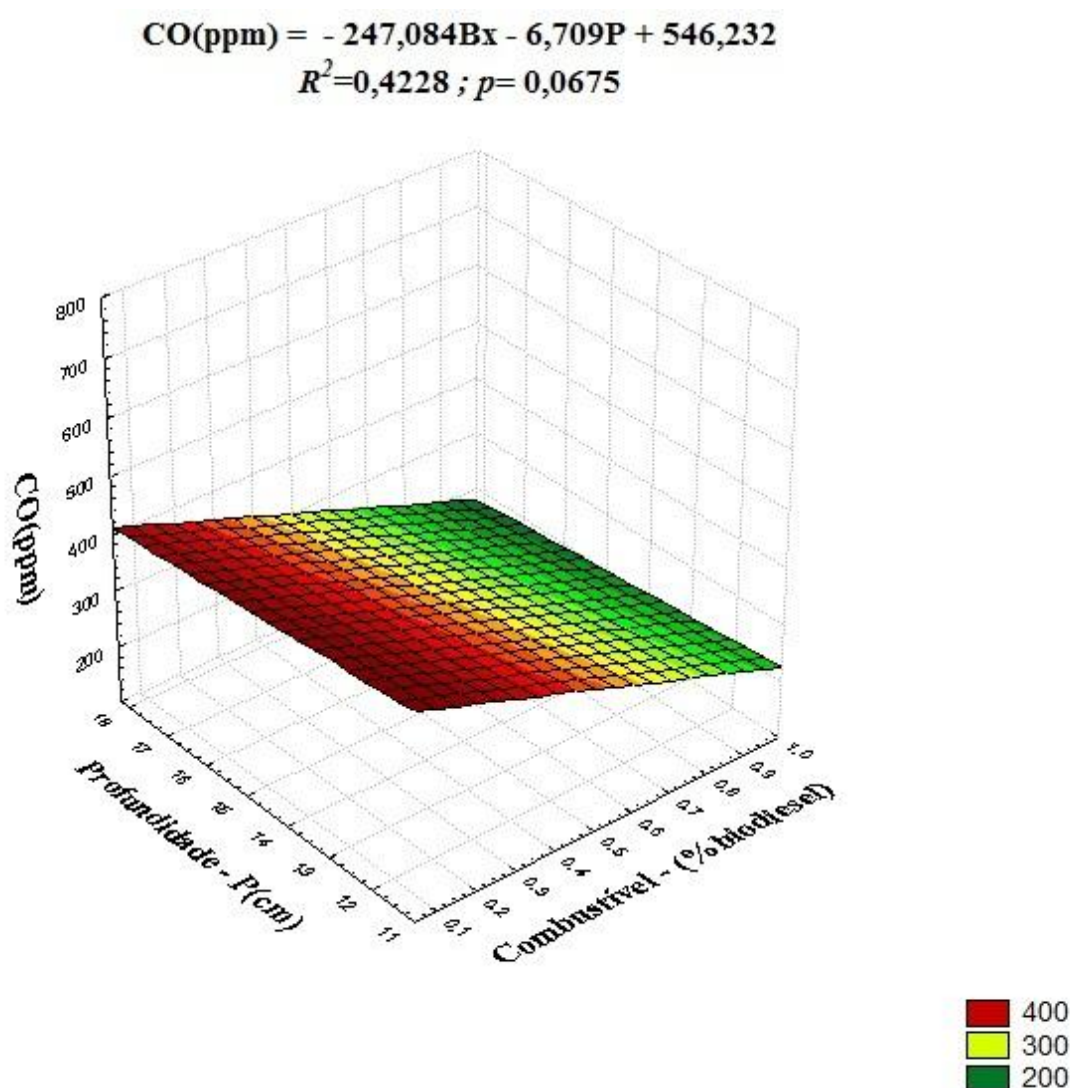


FIGURA 11. Superfície de resposta representando o efeito das diferentes concentrações de biodiesel misturado ao diesel e da profundidade de trabalho na emissão de monóxido de carbono.

4.1.5. Emissões de óxidos de enxofre (SO_x)

Houve efeito significativo das diferentes concentrações de biodiesel misturados ao diesel na emissão de óxidos de enxofre, conforme Tabela 4. Verifica-se na Figura 12, que as emissões foram quase anuladas com a utilização do biodiesel puro (B100), sendo a equação gerada pela regressão significativa. Esta ausência de enxofre confere grande vantagem na utilização do uso de biodiesel em relação ao óleo diesel, reduzindo assim o principal causador de chuvas ácidas, conforme Souza et al. (2005).

De acordo com Baik & Han (2005) o uso de biodiesel pode não somente eliminar as emissões de enxofre, mas permitir sua utilização como aditivo em substituição aos componentes sulfurosos usados atualmente. Isso segundo aos autores deve-se ao fato do biodiesel promover o aumento da lubricidade do óleo diesel.

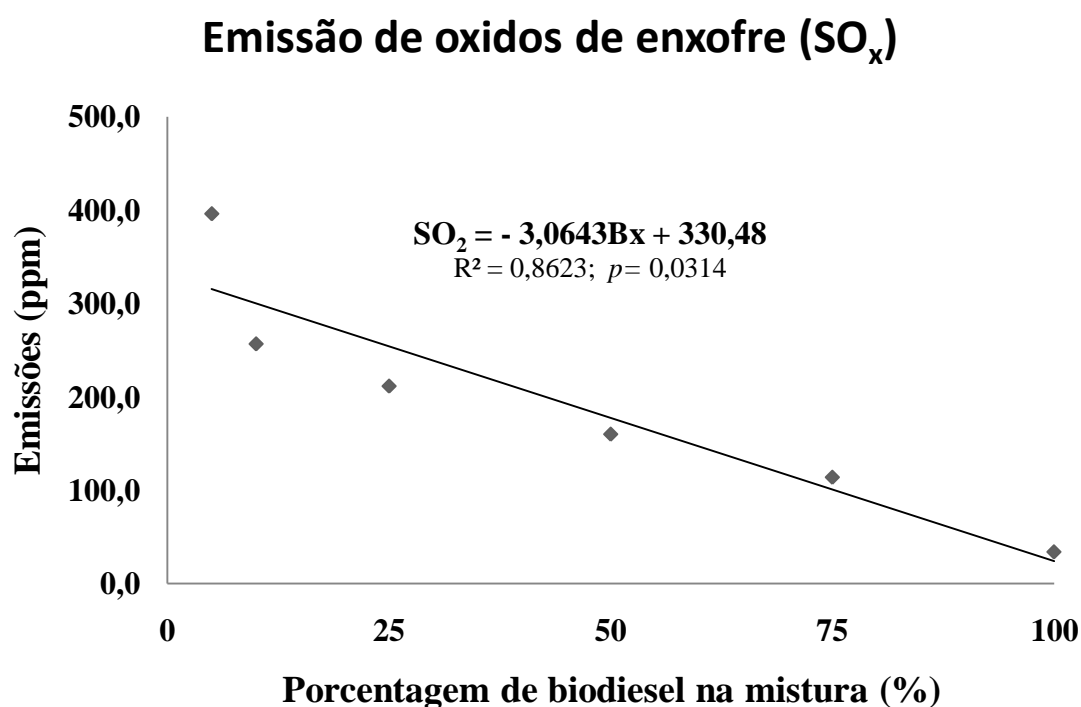


FIGURA 12. Emissões de óxidos de enxofre (SO_x) em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados ao diesel.

4.2. Desempenho do conjunto mecanizado

O resultado da análise de variância para as variáveis relacionadas ao desempenho operacional do trator pode ser visto na Tabela 8. O tipo de combustível

quando analisado isoladamente, não provocou efeito significativo nas variáveis descritas, exceto para a força de tração e a potência na barra de tração. Para a patinagem e o consumo específico do trator verificou-se o efeito significativo da profundidade de trabalho da grade aradora. A variável força de tração e potência média na barra de tração foram significativas para a interação entre a profundidade de trabalho da grade aradora e os diferentes combustíveis utilizados. O consumo horário de combustível não sofreu interferência significativa das fontes de variação estudadas.

TABELA 8. Resumo da análise de variância das variáveis expresso pelo quadrado médio: Patinagem do trator (PAT %), força de tração (FT), potência na barra de tração (Kw), consumo horário (L.h⁻¹) e consumo específico (g.Kw.h⁻¹).

QM						
FV	GL	PAT %	FT	P(Kw)	Cons (L.h ⁻¹)	C.Esp(g kW.h ⁻¹)
Bloco	2	5,051	9697,14	29,232	1,879	31980,95
Combustível	5	2,478	71088,9	10,846	4,388	20521,72
erro 1	10	1,2956	20528,1	2,77	2,657	15640,11
Profundidade	3	1,917*	839439,3*	81,97 *	0,447	70109,05*
Prof *Comb	15	0,495	191250,4 *	27,13 *	1,626	15384,59
erro 2	36	0,621	29272,2	4,45	1,518	11463,07
	CV1=	8,38	10,99	11,34	24,18	29,91
	CV2=	5,8	13,12	14,38	18,27	25,6
	Média	13,58	1304,2	14,68	6,74	418,15

*Significativo pelo teste f, a 5% de probabilidade.

4.2.1. Patinagem da roda Motriz do trator

A profundidade de trabalho apresentou efeito significativo na patinagem do rodado do trator, como mostrado na Tabela 8. O comportamento da patinagem para as diferentes profundidades de trabalho é mostrado na Figura 13. Nota-se que o aumento da profundidade de trabalho aumenta os índices de patinagem o rodado de forma linear, sendo a equação gerada pela regressão linear significativa para esse efeito. Esse fato deve-se que o aumento de carga imposta ao trator pela grade aradora proporcionou um aumento na exigência de tração pelo conjunto, elevando assim os índices de patinagem. Estes valores estão acima dos valores recomendados pela ASAE (1999) que recomendam que para a obtenção da máxima eficiência de tração, a patinagem deve estar compreendida na faixa de 8 a 10%, para solos não mobilizados.

Dessa forma, o comportamento dos valores obtidos pode estar relacionado principalmente pelas condições do solo no momento do ensaio (umidade do solo 17% e resistência a penetração 1,05 MPa) ou lastragem inadequada.

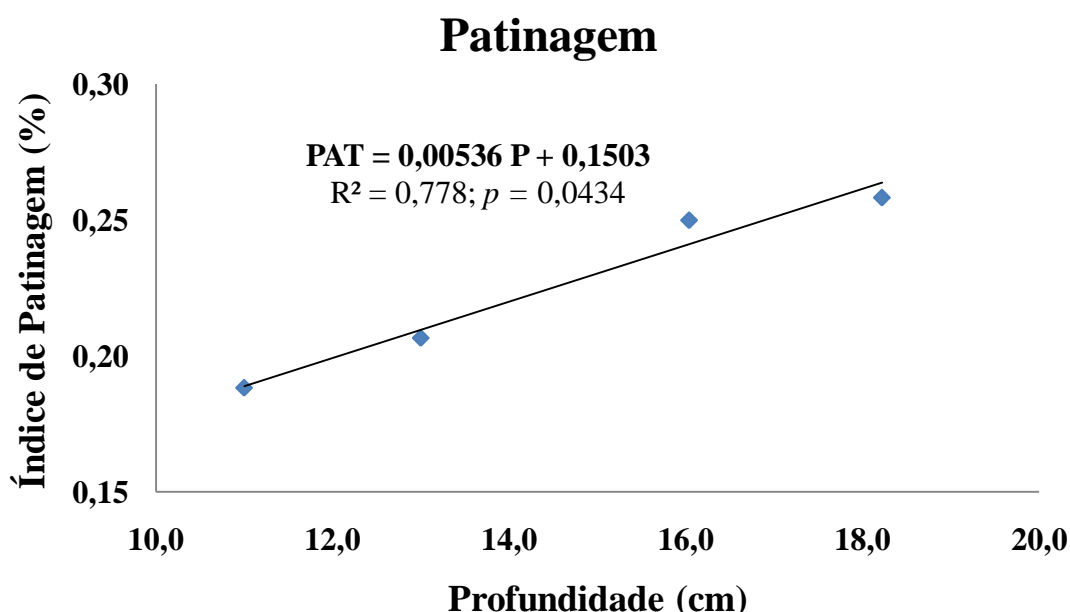


FIGURA 13. Estimativa da patinagem da roda motriz do trator em função da profundidade de trabalho da grade aradora.

4.2.2. Força de tração e potência média na barra de tração

Houve efeito significativo da interação entre as diferentes concentrações de biodiesel misturados ao diesel e da profundidade de trabalho da grade aradora na força de tração, conforme mostrado Tabela 8. O comportamento da força de tração em função da variação das diferentes concentrações de biodiesel misturados ao diesel e da profundidade de trabalho da grade aradora na força de tração é mostrada na Figura 14.

Na figura 15 é possível verificar que a força de tração foi maior para o óleo diesel (B5), tendo uma redução de 16% quando utilizado o biodiesel puro. Pela inclinação da reta é possível dizer que a maior diferença não foi em função do tipo de mistura utilizada, e sim para a variação de profundidade durante os ensaios.

Resultado semelhante foi obtido por Lopes et al. (2004), onde avaliando o uso de biodiesel etílico de óleo residual verificou no motor do trator em preparo de solo com uma grade aradora de arrasto que o aumento da profundidade de trabalho aumentou a força de tração, exigindo assim maior potência na barra de tração.

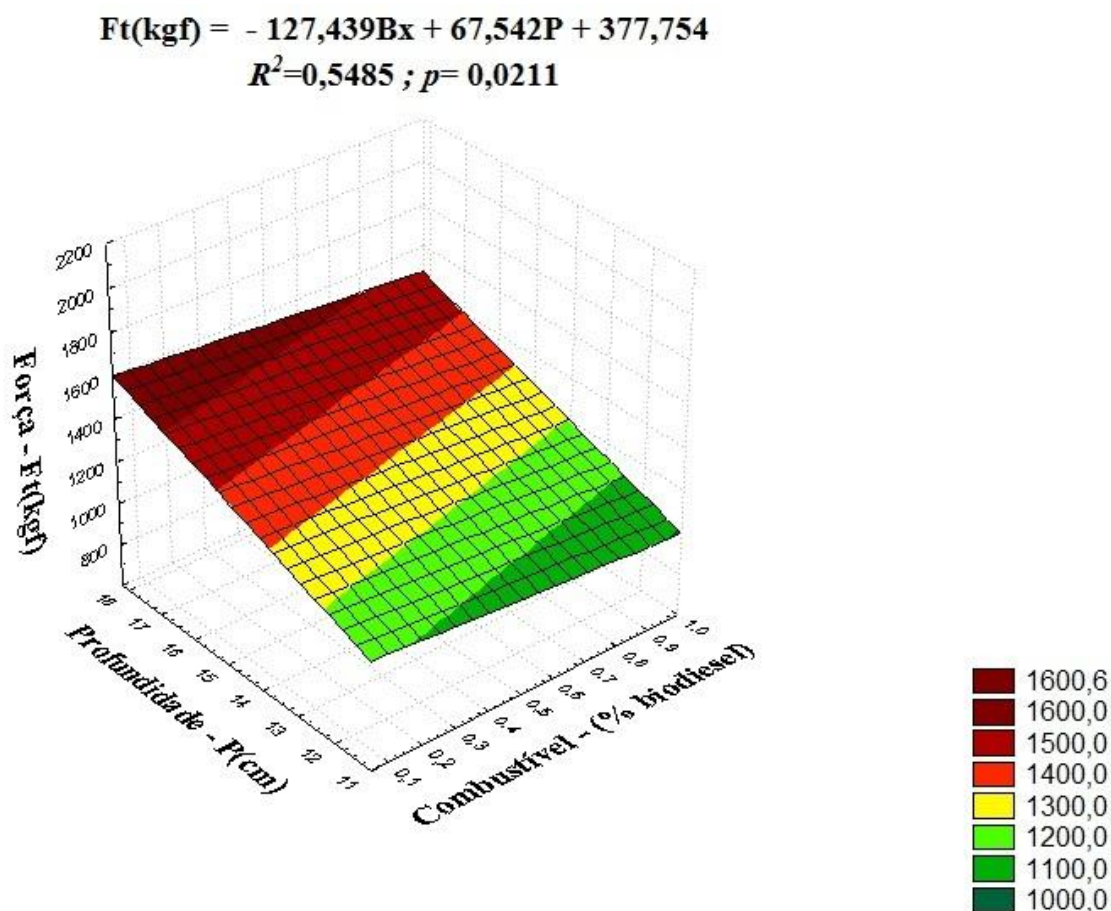


FIGURA 14. Superfície de resposta do efeito das diferentes concentrações de biodiesel misturados ao diesel e da profundidade de trabalho da grade aradora na força de tração.

Comportamento semelhante à força de tração foi observado quando analisada a potência média na barra de tração. De acordo com a superfície de resposta apresentada na Figura 16 é possível verificar que na condição crítica de maior profundidade de trabalho, em média a potência quando utilizado óleo diesel (B5) foi superior em 27,8 % em relação ao biodiesel puro (B100).

Resultado semelhante foi obtido por Grotta et al. (2008) que avaliando o desempenho de um trator agrícola utilizando misturas de diesel com biodiesel, verificaram que em média a potência quando utilizado o biodiesel puro (B100) foi menor em comparação as outras misturas, obtendo assim o menor índice de desempenho do trator.

Mazieiro et al. (2005) realizaram testes em motor MWM de injeção direta, utilizando diesel metropolitano e biodiesel de girassol verificaram que houve redução na potência do motor de 7,6%.

Outros autores como Volpato et al.(2009), Silva et al. (2004) e Mazieiro et al. (2006) também obtiveram reduções na potência do motor de no máximo 10%, bem abaixo do resultado obtido no presente estudo.

Um dos fatores que pode ter ocasionado esse resultado deve-se a maior viscosidade que o biodiesel puro tem em relação ao óleo diesel, visto que, segundo Van Gerpen (2006) com viscosidade mais elevada a bomba injetora não fornece combustível suficiente ocasionando como efeito final a redução na potência.

Para Beltrão (2005) a redução da potência pode estar relacionada com o aumento da quantidade de oxigênio presente no biodiesel puro, cerca de 11% de oxigênio na molécula, que embora seja menos poluente que o diesel acaba causando um menor poder calorífico ao biodiesel.

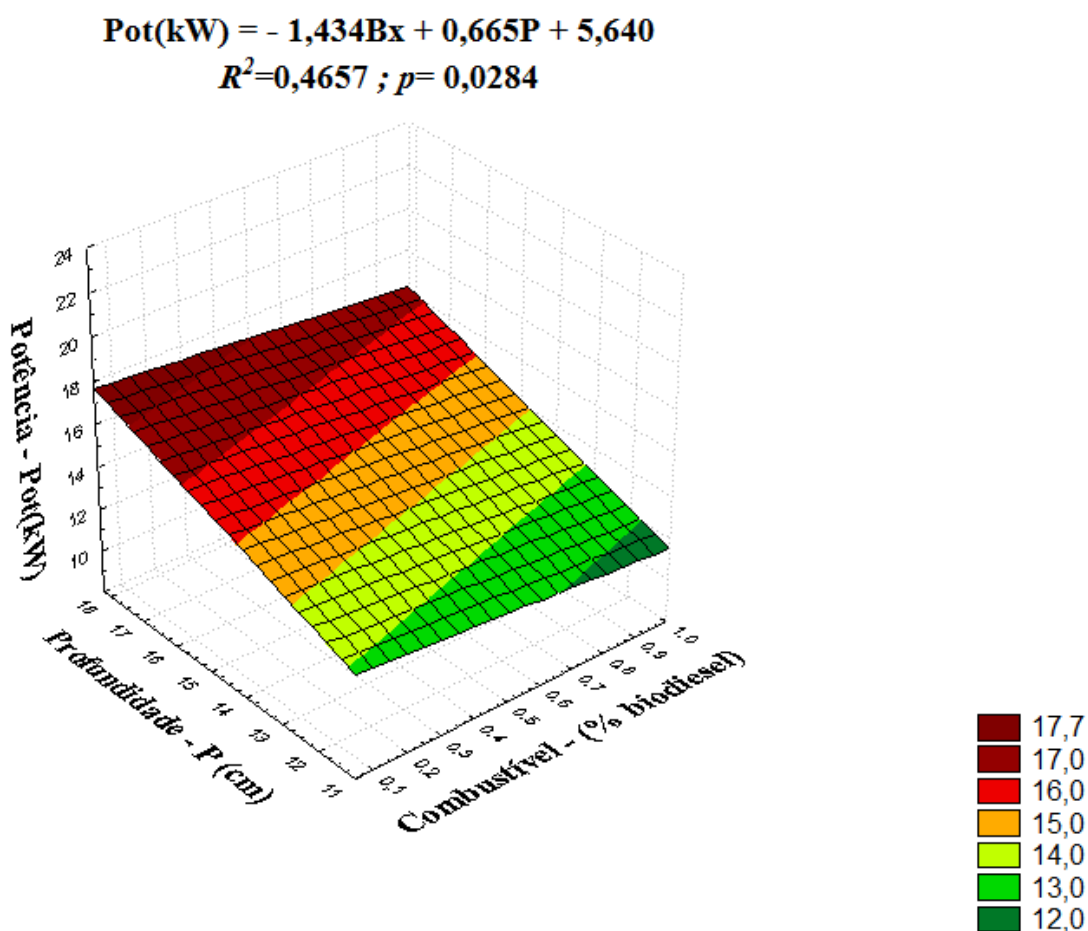


FIGURA 15. Superfície de resposta representando o efeito das diferentes concentrações de biodiesel misturado ao diesel e da profundidade de trabalho na potência média na barra de tração.

4.2.3. Consumo horário de combustível

Não houve efeito significativo da interação entre as diferentes concentrações de biodiesel e da profundidade de trabalho da grade aradora no consumo de combustível, conforme mostrado Tabela 8. Na Tabela 9 são apresentados os valores médios do consumo horário de combustível.

Para Nietiedt (2010) o fato de o consumo horário não ser significativo pode ser explicado sob o ponto de vista que, ao contrário do consumo específico, não é levado em consideração a potência produzida (kW) por massa de combustível consumida (g). Devido também a diferença de densidade quando comparado ao óleo diesel, um volume de óleo diesel apresenta massa inferior ao mesmo volume de biodiesel, fazendo com que a diferença quando comparados os valores de volume de combustível consumido seja diminuída.

Quando analisado o consumo horário em função do tipo de combustível utilizado houve redução de 9,05% com a utilização do biodiesel de soja puro (B100) em comparação ao óleo diesel (B5). Resultado semelhante foi obtido por Volpato et al. (2009) onde cita que a utilização de biodiesel na forma pura tende a produzir menor consumo em motores de aspiração natural devido ao empobrecimento da mistura ocasionada pelo biodiesel em relação ao óleo diesel interior.

TABELA 9. Valores médios para do consumo horário de combustível (L.h⁻¹) expressos em litros por hora em função das diferentes concentrações de biodiesel misturados ao diesel e profundidades de trabalho da grade aradora.

Combustível	P1	P2	P3	P4
B5	8,5 ± 0,7	7,9 ± 0,4	6,6 ± 0,6	7,6 ± 0,7
B10	6,0 ± 0,7	7,0 ± 0,4	6,9 ± 0,6	5,6 ± 0,7
B25	6,4 ± 0,7	6,9 ± 0,4	7,9 ± 0,6	7,0 ± 0,7
B50	5,7 ± 0,7	6,2 ± 0,4	6,4 ± 0,6	6,8 ± 0,7
B75	6,6 ± 0,7	6,3 ± 0,4	5,3 ± 0,6	6,1 ± 0,7
B100	7,0 ± 0,7	6,7 ± 0,4	6,0 ± 0,6	8,2 ± 0,7
Média	6,7 ± 0,7	6,9 ± 0,4	6,5 ± 0,6	6,9 ± 0,7

A ausência de letras indica que os tratamentos não diferiram estatisticamente pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

4.2.4. Consumo específico de combustível

Houve efeito significativo das diferentes profundidades de trabalho da grade aradora no consumo de combustível, conforme mostrado Tabela 8. O consumo específico de combustível é uma forma apropriada de comparação entre os tratamentos, visto que, além de corrigir a densidade do combustível expressa à quantidade de combustível por unidade de potência na barra de tração, (BARBOSA, 2007).

O comportamento do consumo específico de combustível em função da profundidade de trabalho foi ajustado a um modelo linear e está ilustrado na Figura 16. O aumento da profundidade de trabalho provocou a diminuição do consumo específico de combustível, sendo essa redução de 30% quando comparado a utilização da menor profundidade de trabalho.

Resultado semelhante foi obtido por Furlani et al. (2008) que avaliando o desempenho de uma semeadora- adubadora verificaram que o consumo específico foi maior quando trabalhado em menores velocidades de operação, fato explicado pela menor exigência na barra de tração, visto que a potência requerida pelo sistema é fator determinante para a obtenção desta variável.

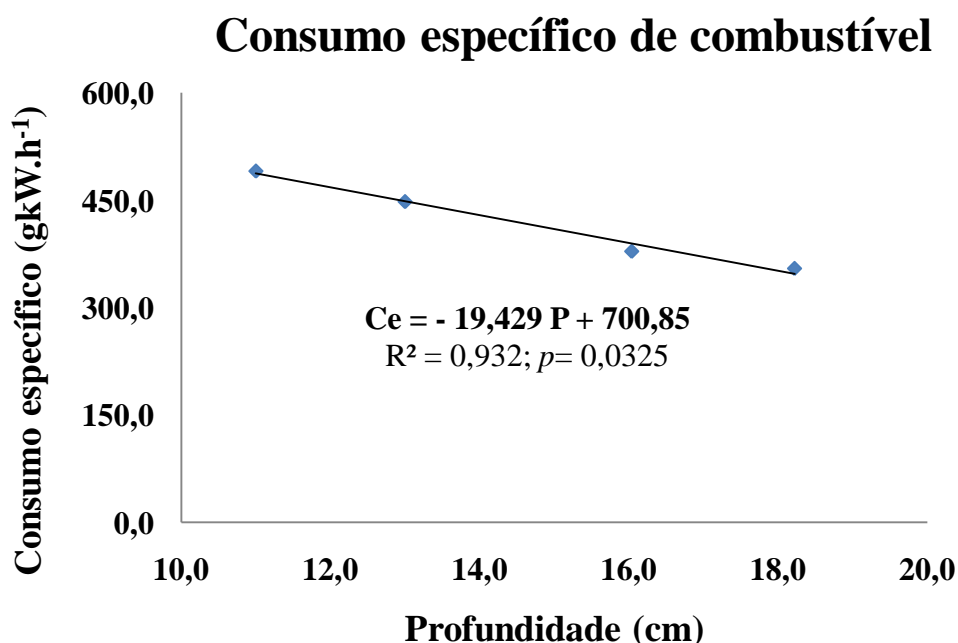


FIGURA 16. Estimativa do consumo de específico de combustível em função da variação da profundidade de trabalho da grade aradora.

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvido este trabalho, pode-se concluir que:

O aumento da concentração de biodiesel misturado ao diesel proporcionou redução na emissão de monóxido de carbono (CO). O aumento da profundidade de trabalho da grade aradora proporcionou redução na emissão de CO, embora em menor proporção.

Houve redução na emissão de óxidos de enxofre (SO_x) com o aumento da concentração de biodiesel adicionado ao diesel, sendo quase anulada com o uso do biodiesel puro (B100).

A patinação do trator aumentou com o aumento da profundidade de trabalho da grade aradora.

O aumento da profundidade de trabalho combinado com o aumento da concentração de biodiesel na mistura promoveu redução na força de tração e na potência média na barra de tração.

O aumento da profundidade de trabalho reduziu o consumo específico de combustível.

O resultado do presente estudo mostra a viabilidade técnica e ambiental do uso de biodiesel de soja como combustível.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIN, R.; ÇETINKAYA, S. ; YÜCESU, H.S., The potential of using vegetal oil fuels as fuel for diesel engines. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, 42, p. 529, 2001.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data. **ASAE standards 1999: standards engineering practice data**. St Joseph, 1999. p. 359-66 (ASAE D497.4 JAN 98).

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. Soil cone penetrometer: **ASAE standard S313.3**. St Joseph: ASABE, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT- NBR ISO 1585- **Veículos rodoviários - Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva**. Rio de Janeiro, 1996. 26p.

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, 2000, 41p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. MB1615 - **Gás de escapamento emitido pôr motor diesel - medição do teor de fuligem com amostrador pôr elemento filtrante**. Rio de Janeiro, 1990, 6 p.

BAIK, D. S.; HAN, Y. C. The effect of biodiesel and ultra low sulfur diesel fuels on emissions in 11,000 CC heavy-duty diesel engine. **Journal of mechanical science and technology**, Seoul, v.19, n. 3, p.870-876, 2005.

BARBOSA, R. L. **Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel**. 55p. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BARBOSA, A. L. P. B. F. **Biodiesel de mamona em trator agrícola na operação de preparo do solo**. 62f. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

BELTRÃO, N. E. M. Agronegócio das oleaginosas no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 14-17, 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Resolução nº 07, de 19 de março de 2008**. Disponível em: <www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp>. Acesso em: 18 mai. 2010.

BRASIL. 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 06 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002a**. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11>. Acesso em: 15 de junho de 2010.

BRASIL . Agência Nacional de Petróleo. **Resolução do Conselho Nacional de Política Energética nº 3, de 23 de setembro de 2005b**. Disponível em: <www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp>. Acesso em: 20 de junho de 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006- 2011**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. p. 96-98.

CARVALHO, R. D. DE; SOUZA, R. U. de; JUNIOR, A. S. C. **Motores Diesel MWM: conceitos básicos**. São Paulo, MWM, 2000. 100 p.

CHANG, Y. Z. D.; GERPEN, V. H. J.; LEE, I.; JOHNSON, A. L.; HAMMOND, G. E.; MARLEY, J. S. Fuel properties and emissions of soybean oil esters as diesel fuel **Journal of American Oil Chemists Society** . 73 p, 1996.

CORREA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; UNGARO, M. R.; BERNARDI, J. A.; STORINO, M. Desempenho De Motor Diesel Com Misturas De Biodiesel De Óleo De Girassol. **Revista Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 923-928, 2008.

CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C. C.; REIS, G. N.; FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; DABDOUB, J. M. Biodiesel x Velocidade: desempenho de um trator agrícola. In: **Anais... CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL- “BIODIESEL: combustível ecológico”**, 4., Varginha. Lavras: UFLA, p. 525- 530, 2007.

COSTA NETO, P. R., ROSSI, L. F. S., ZANGONEL, G. F., RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, Curitiba, v.23, n.4, p.531-537, 2000.

CRUZ, R. S., PIRES, M. M., NETO, J. A. A., ALVES, J. M., ROBRA, S., SOUZA, G. S., ALMEIDA, C. M., SOARES, S. M., XAVIER, G. S. Biodiesel: uma nova realidade energética no Brasil. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 16, n. 1, p. 97-106, 2006.

DELMOND, J. G. **Desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura do feijão**. 67f. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U.; KRAUSE, R.; BLANKEN, J. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ/IAPAR, 1991. 272p.

DIAS, L. A. S.; MISSIO, R. F.; RIBEIRO, R. M.; FREITAS, R. G. de.; DIAS, P. F. S. Agrocombustíveis: perspectivas futuras. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v.18, n.4, p.539-547, 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FERNANDES, H. C., MION, R. L., SILVEIRA, J. C. M., RINALDI, P. C. N., MODOLO, A. J. Avaliação da demanda energética numa operação conjugada de preparo do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, n.312, p. 132-138, 2007.

FERRES, D. Análise integrada dos custos de produção e comercialização do biodiesel no Brasil. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE BIODIESEL (ABIOVE / TECPAR) 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [s.n.], 2003.

FURLANI, C. E. A. **Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 221 f. 2000. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

FURLANI, C. E. A., SILVA, R. P., CARVALHO FILHO, A., CORTEZ, J. W., GROTTA, D. C.C. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, n. 1, p 345-352, 2008.

FREEDMAN, B., BUTTERFIELD, R. O., PRYDE, E. H. Transesterification kinetics of soybean. **Journal American Oil Chemist's Society**, Illinois, v. 63, p.1375- 1380, 1986.

GAMERO, C. A. **Enxada rotativa: desempenho em função do tipo de lâmina, do número de pares de lâminas por flange, da rotação do rotor e da velocidade de deslocamento**. 1991. 227 f. Tese (Livre-Docência em Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

GARCIA, A. J. M. & TOOKUNI, J. P. M. **Combustível alternativo: Biodiesel de gordura animal**. Monografia de graduação. UTFPR, 2006. Disponível em:< <http://www.biodieselbr.com/estudos/biodiesel/biodiesel-sebo-gordura-animal.htm>>. Acesso em: 23 Fev.2010.

GONZALEZ, J. F. **Cultivos energéticos para la Península Ibérica**. Madrid, España: Editorial Agrícola Española, 1994.p. 27-41.

GRABOSKY, M. S., MCCORMICK, R. L. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. **Progress in Energy Combustion Science**, Amsterdam, v. 24, p. 125-164, 1998.

GROTTA, D. C. C., LOPES, A., FURLANI, C. E. A., SILVA, R. P.da., REIS, G. N., CORTEZ, J. W. Biodiesel etílico filtrado de óleo residual de soja: desempenho de um trator agrícola na operação de gradagem. **Acta Scientiarum Technol**. Maringá, v. 30, n. 2, p. 135-138, 2008.

HASSETT, D. J.; HASAN, R. A. Sunflower oil methyl ester as diesel fuel. In: VEGETABLE OIL FUELS – PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PLANT AND VEGETABLE OILS AS FUELS, 1982, Michigan. **Proceedings...** Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1982. p. 123-126.

KRAHL, J. Influência do biodiesel e de diferentes combustíveis diesel sobre as emissões de exaustão e seus efeitos sobre a saúde. In: KNOTHE, G. (Org.); VAN GERPEN, J.; KRAHL, J. **Manual de Biodiesel**. Tradução: Luiz Pereira Ramos. São Paulo: E. Blücher, 2006. p. 193-201.

KEGL, B. Effects of biodiesel on emissions of a bus diesel engine. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 99, n. 4, p. 863-873, 2008.

KNOTHE, G. **Manual de Biodiesel**. 1ª Ed. São Paulo: Editora Blucher, 2006. 352 p.

LABORATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS LIMPAS (LADETEL/USP-RP). **Biodiesel: estratégias para produção e uso no Brasil**. Unicorp, São Paulo, 2005, v.1, p.34-37.

LAURINDO, J. C. **Experiência com Biocombustíveis na Cidade de Curitiba**. In: Anais do Congresso Internacional de Biocombustíveis Líquidos; Instituto de Tecnologia do Paraná; Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior; Curitiba, PR, p. 22, 1998.

LOPES, A.; FURLANI, C. E. A.; MELLO, J. G. S. **Protótipo de sistema instrumental para medição de consumo de combustível em tratores**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E À INDÚSTRIA, 4., 2003. Porto Seguro: Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e à Indústria, 2003. 1 CD-ROM.

LOPES, A.; GROTTA, D. C. C.; FURLANI, C. E. A.; CAMARA, F. T.; HURTADO, G. R. Biodiesel etílico de óleo residual: consumo de combustível de um trator agrícola em função do percentual de mistura biodiesel e diesel de petróleo. In: **Anais... CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**, 3., 2004. Belém: Associação Brasileira de Engenharia Mecânica, 2004. CD-ROM.

LUCARELLI, J. R. F. **Alterações em Características de um Latossolo Roxo Submetido a Diferentes Sistemas de Manejo**. 87p. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MA, F., HANNA, M. A., Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.70, p.1-15, 1999.

MACHADO, P. R. M. **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção**. 163 f. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MAZIERO, J. V. G.; CORRÊA, I. M.; TRIELLI, M. A.; BERNADINI, J. A.; AGOSTINI, M. D'. Avaliação de emissões poluentes de um motor de ignição por compressão utilizando óleo diesel e éster etílico de óleo de girassol como combustível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS VEGETAIS E BIODIESEL, 2., 2005, Varginha. **Anais...** Varginha, MG: UFLA, 2005. p. 723-728.

MAZIEIRO, J. V. G.; CORREA, I. M.; TRIELLI, M. A.; BERNARDI, J. A.; D'AGOSTINI, M. F. Avaliação de emissões poluentes de um motor diesel utilizando biodiesel de girassol como combustível, **Engenharia na Agricultura**, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 287-292, 2006.

MEDRANO, M. F. **Avaliação da Sustentabilidade do Biodiesel de Soja no Brasil**. 98f. 2007. Dissertação (Mestrado em Política e Gestão Ambiental) – Universidade de Brasília, Distrito Federal.

MEHER, L. C.; SAGAR, D. V., NAIK, S. N., Technical aspects os biodiesel production by transesterification – a review, **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 10, p. 248-268, 2006.

MIALHE, L. G. Ensaio & certificação de máquinas motoras. In: _____. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. cap. 7, p. 321-370.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/noticias/destaque3/destaque_0081.html>. Acessado em 18 Nov. de 2009.

MIRAGAYA, J. C. G. Biodiesel: tendências no mundo e no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 7-13, 2005.

MSIPA, C. K. M., GOERING, C.E., KARCHER, T.D. Vegetable oil atomization in a DI diesel engine. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.26, n.06, p. 1669-1672, 1983.

MUÑOZ, M. MORENO, F., MOREA, J. Emissions of an automobile diesel engine fueled with sunflower methyl ester. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.47, n.1, p. 5-11, 2004.

NASCIMENTO, J. E.; DALLAN, J. C. F. O consumo e a produção de biodiesel e a necessidade de ações mitigadoras de efeito estufa. In: **Anais... CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL- “BIODIESEL: combustível ecológico”**, 4., Varginha. Lavras: UFLA, p. 73- 83, 2007. CD-ROM.

NIETIEDT, G. H. **Misturas de biodiesel de soja, com aditivação e variação do ponto de avanço, em um motor de injeção direta**. 91f. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

OGURA, M., YAMADA, S., TAKUO, Y., KURATOSHI, K. Effect of Fuel Temperature on Spray Characteristics of Diesel Spray Impinging on a Ringed Wall. **JSAE Review**, Tokyo, v.23, p. 189-194, 2002.

OLIVEIRA, E.; SILVA, F. M. da; CONDE, A. do P.; BARBOSA, R. L.; SOUZA, R. G.; LIMA, P. H. G. Desempenho comparativo de motor de combustão alimentado com diesel, B2, B5, B20 e B100. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL**, 2., 2005. Varginha. **Anais ... Varginha: UFLA**, 2005. p.761-768. CD-ROOM.

PASQUIS, R. **Etude Préliminaire en Vue de l'Evolution des Projets de Reforme Agraire en Amazonie Legal** – Relatório de Pesquisa, CIRAD-UnB-CenDoTec, Brasília, 2004.

PAULILLO, L. F., VIAN, C. E. F., SHIKIDA, P. F. A., MELLO, F. T. Álcool combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis?. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 45, n. 3, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010320032007000300001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 12 Janeiro 2010.

PENTEADO, R. A. N., SILVA, E. L.; KRUGER, E. A.; REMPE, D.; WILHELM, H. M.; CUNHA, R. B. C.; DAEMME, L. C.; BÓRIO, H. F.; LAURINDO, J.C.; COQUETO, J. R. **Desempenho de Motores Diesel com o Emprego de Biodiesel, no Acionamento de Grupos Geradores**. In: II Congresso Brasileiro da rede de tecnologia do biodiesel, Brasília, 2007. Disponível em: <www.biodiesel.gov.br/rede_arquivos/usobiodiesel>. Acesso em: 11 Mar 2010.

PERES, J. R. R., BELDRANO, N. E. M. Oleaginosas para Biodiesel : situação e potencial. In : FERREIRA, J.R., CRISTO, C.M.P.N. (coord.). **O futuro da indústria: biodiesel- coletânea de artigos**. Brasília : MDIC-STI/IEL, 2006. p. 67-82.

PESSOA, V. M. N., SOUZA, F. C. S., REBOUÇAS, I. G. O Biodiesel como elemento de desenvolvimento sustentável no semi-árido Potiguar. **Revista Holos**, Rio Claro, v. 3, [s.n], p.113-125, 2007.

PLÁ, J. A. Perspectivas do biodiesel no Brasil. **Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, v.30, n.2, p.179-190, 2002.

RAMOS, L. P., KUCEK, K. T., DOMINGOS, A. K., WILHELM, H. M. Biodiesel: Um Projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia & Desenvolvimento**, São Paulo, v. 31, [s.n], p. 28-37. 2003.

RATHMANN, R.; SANTOS, O. I. B.; PADULA, A. D. **Análise da introdução do biodiesel na matriz energética brasileira sob as perspectivas do desenvolvimento sustentável e da inovação**. São Paulo: USP, 2006 Disponível em: <<http://www.ead.fea.usp.br/Semead/9semead/index.htm>> Acesso em: 15 Julho de 2010.

ROMERO, J.; MIRALLES, J. **Biocombustibles Perspectiva Ambiental**. Barcelona, España: Ed. Associació de Mestres Rosa Sensat. FUNDACION TERRA, v.24, 34p, 2002.

ROSA, J. **Restrições da produção familiar de biodiesel na competição em escala mundial (qualidade de produção e presteza no fornecimento)**. In: SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONOMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. Biodiesel: inclusão social e desenvolvimento regional. Salvador: SEI 2010. p. 135- 140.

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para a avaliação do desempenho de tratores agrícolas**. 142 f. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SALVADOR, N., MION, R. L., BENEZ, S. H. Consumo de Combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 870-874, 2009.

SANTOS, D. C., PEIXOTO L. B., TORRES, E. A. **Análise de Emissões e de Consumo Específico de um Motor Diesel Operando com Biodiesel de Soja e de Óleos e Gorduras Residuais**. In: II Congresso da Rede Brasileira de tecnologia de Biodiesel, Brasília, 2007. Disponível em: <www.biodiesel.gov.br/rede_arquivos/usobiodiesel>. Acesso em: 11 Março de 2010.

SEPIN – Superintendência de Estatística, Pesquisa e Informação, 2009. Disponível em<<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/pub/anuario/2009/SITUACAOFISICA/tabela11.htm>>. Acesso em: 17 Novembro de 2010.

SILVA, S. L., BENEZ, S. H., LEVIEN, R., SIQUEIRA, R. Força de tração obtida com integrador de força e sistema computadorizado, operando um rolo faca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 28, 1999. Pelotas – RS. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. CD – ROM.

SILVA, P. R. F. da; FREITAS, T. F. S. de. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p. 843-851. 2008.

SILVA, F. M. da; LOPES, A.; CARNEIRO NETO, P.; DABDOUB, M.; SALVADOR, N.; SILVA, R. P. da. Desempenho comparativo de motor de combustão alimentado com diesel, B50 e B100. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2004, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2004.CD-ROM.

SOUZA, W. L., FERRARI, R. A., SCABIO, A., BARCARO, P. Biodiesel de óleo de girassol e etanol. **Revista Biomassa & Energia**, Viçosa, v.2, n.1, p.1-5, 2005.

SCHUMACHER, L. G., MARSHALL, W. KRAHL, J. WETHEREL, W. B., GRABOWSKI, M. S. Biodiesel emissions data from series 60 DDC Engines. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 44, n.6, p. 1465-1468, 2001.

SHARMA, Y. C, SINGH, B., UPADHYAY, S. N., Advancements in development and characterization of biodiesel: A review, **Fuel**, Amsterdam, v. 87, n. 12, p. 2355-2373, 2008.

SLUSZZ, T., MACHADO, J. A. D. Características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar. In: **Anais...** ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6 p., 2006, Campinas.

STOLF, R; SILVA, J. R.; GOMEZ, J. A. M. Grades agrícolas: Evolução histórica de seus mancais. **Revista ALCOOLbrás**, São Paulo, v. 115, p. 65- 69. 2008.

TORRES, E. A.; SANTOS, D. C.; SOUZA, D. V. D.; PEIXOTO, L. B.; FRANÇA, T. Ensaio de motores estacionários do ciclo diesel utilizando Óleo Diesel e Biodiesel (B100). In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, AGRENER, 2006, Campinas. **Anais...** Campinas, SP, UNICAMP. Disponível em: < www.nipeunicamp.org.br/agrener/anais/2006/69.pdf>. Acesso em: 13 de janeiro de 2011.

USEPA. **A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions: draft technical report**. Washington, 2002. 118 p.

USTA, N. Use of tobacco seed oil methy ester in a turbocharged indirect injection diesel engine. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v. 28, [s.n], p. 77-86, 2005.

VAN GERPEN, J. Conceitos básicos sobre motores diesel e seus combustíveis. In: KNOTHE, G. (Org.); VAN GERPEN, J.; KRAHL, J. **Manual de Biodiesel**. Tradução: Luiz Pereira Ramos. São Paulo: E Blücher, 2006. p. 19-28.

VICENTE, G., MARTÍNEZ, M., ARACIL, J., Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems, **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.92, [s.n], p. 297-305, 2004.

VOLPATO, C. E. S., CONDE, A. P., BARBOSA, J. A., SALVADOR, N. Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B100). **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1125-1130, 2009.

ANEXOS


ANEXO A- Especificações do biodiesel segundo as normas ANP 7 (Brasil), ASTM D 6751-02(Estados Unidos - EUA) e EN 14214 (União Européia – EU).

			<i>Brasil</i>	<i>EUA</i>	<i>UE</i>
Data			Março 2008	Fev. 2002	Jul. 2003
Especificação	Condição	Unidade	ANP 7	D 6751-02	EN14214
Massa específica	20° C	kg/m ³	850-900	-	860-900
Viscosidade cinemática	40° C	mm ² /s	3,0-6,0	1,9-6,0	3,5-5,0
Destilação	95%	°C	-	≤360	-
Ponto de fulgor		°C	≥100	≥130	≥120
Ponto de névoa		°C	19		
Enxofre total		% [mg/kg]	≤50	≤500	≤10
Resíduo de carbono (Coradson)	100%	% [m/m]	0,050	≤0,05	≤0,05
	10%	% [m/m]	anotar	-	≤0,30
Cinza sulfatada		% [m/m]	≤0,02	≤0,02	≤0,02
Teor de água		ppm	≤500	-	≤500
Água e sedimentos		% vol	-		≤0,02
Número de cetano		-	anotar	≥47	≥51
Valor de acidez		mg KOH/g	≤0,5	≤0,8	≤0,5
Estabilidade oxidativa	Oxidação a 110°C	-	≥6	-	≥6
Teor de metanol		% [m/m]	≤0,2	-	≤0,2
Teor de ester		% [m/m]	≥96,5	-	≥96,5
Moacilgliceróis		% [m/m]	anotar	-	≤0,8
Diacilgliceróis		% [m/m]	anotar	-	≤0,20
Triacilgliceróis		% [m/m]	anotar	-	≤0,20
Glicerol Livre		% [m/m]	≤0,02	≤0,02	≤0,02
Glicerol Total		% [m/m]	≤0,25	≤0,24	≤0,25
Número de iodo		g/100g	anotar	-	≤120
Teor de fósforo		PPM	≤10	≤10	≤10
Metais alcalinos (Na + K)		PPM	≤5	-	≤5,0

Anotação: Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da tabela de especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados pelo produtor de biodiesel à ANP, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de, neste período, haver mudança de tipo de matéria-prima, o produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de matérias-primas utilizadas.

ANEXO B - Certificado de calibração do analisador de gases de combustão KANE, modelo 940.

Pag 1 de 1


INSTRUTEMP
instrumentos de medição

N20054/10

Certificado de Calibração

Ciente: Alternativa Comercial Científica Ltda.

Detalhes do Aparelho

Analisador de combustão
 Modelo: KANE
 Nº de Serie: 040710030
 Fabricante: KANE

Procedimentos

Introdução de amostra de gás Padrão – INST-CILIND-REV.07

Resultados das Medições

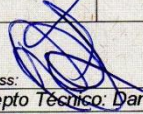
CO SI	Padrão	Leitura 1	Leitura 2	Leitura 3	Média	Desvio	Incerteza (U95)
μ mol/mol	134,3	135	135	135	135,0	0,7	10,16
μ mol/mol	1006,1	1007	1007	1007	1007,0	0,9	10,02

O ₂ SI	Padrão	Leitura 1	Leitura 2	Leitura 3	Média	Desvio	Incerteza (U95)
% mol/mol	12,0	11,9	12,0	12,0	12,0	0,0	0,81

Notas:
 * SI – Sistema Internacional de Unidades
 • Incerteza Expandida declarada como incerteza padrão da medição multiplicada pelo o fator de abrangência k=2 com probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%
 *Condições Ambientais: 20°C / 65% UR
 *Os resultados validos para o estado atual do instrumento em condições de ensaio e referem-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes.O certificado de calibração não deve ser parcialmente reproduzido sem prévia autorização

Padrão Utilizado

Instrumento	Fabricante	Nº de serie	Nº do certif.	Laboratório	Rastreabilidade	Validade
Cilindro	Linde	-----	810/10	LINDE	RBC/INMETRO	01/04/2012
Cilindro	Linde	-----	812/10	LINDE	RBC/INMETRO	01/04/2012
Cilindro	Linde	-----	1771/08	LINDE	RBC/INMETRO	02/07/2010

Ass: 
 Depto Técnico: Daniel Farias dos Santos

Daniel Farias dos Santos
 CREA - São Paulo n.º 5062125410

Data da Calibração: 05/05/2010

INSTRUTEMP - INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA
 R. Fernandes Vieira, 156 - Belenzinho - 03059-023 - São Paulo, SP - Brasil
 Tel: (55 11) 3488-0200 | Fax: (55 11) 3488-0208
 vendas@instrutemp.com.br | www.instrutemp.com.br