

PAULO HENRIQUE PAIVA

**ALTERAÇÃO DO PONTO DE INJEÇÃO NO DESEMPENHO DE UM
MOTOR AGRÍCOLA OPERANDO COM BIOCOMBUSTÍVEIS**

**CASCVEL
PARANÁ - BRASIL
MARÇO – 2018**

PAULO HENRIQUE PAIVA

**ALTERAÇÃO DO PONTO DE INJEÇÃO NO DESEMPENHO DE UM
MOTOR AGRÍCOLA OPERANDO COM BIOCOMBUSTÍVEIS**

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

ORIENTADOR: Prof. Dr. Flavio Gurgacz.
COORIENTADOR: Prof. Dr. Samuel Nelson Meleragi de Souza.

**CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2018**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Paiva, Paulo Henrique

Alteração do ponto de injeção no desempenho de um motor agrícola operando com biocombustíveis / Paulo Henrique Paiva; orientador(a), Flavio Gurgacz; coorientador(a), Samuel Nelson Melegari de Souza, 2018.

75 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2018.

1. Máquinas agrícolas. 2. Biodiesel. 3. Etanol. 4. Ponto de Injeção. I. Gurgacz, Flavio. II. Souza, Samuel Nelson Melegari de . III. Título.

PAULO HENRIQUE PAIVA

**“ALTERAÇÃO DO PONTO DE INJEÇÃO NO DESEMPENHO DE UM
MOTOR AGRÍCOLA OPERANDO COM BIOCOMBUSTÍVEIS”**

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


Orientador(a) - Flavio Gurgacz

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


Deonir Secco

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


Alcir José Modolo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus de Pato Branco (UTFPR)

Cascavel, 16 de março de 2018

*Dedico este trabalho à minha família,
namorada e amigos por participarem
dos meus sonhos e partilharem das
minhas conquistas.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao bom Pai do Céu, por me conceder apoio, capacidade e sabedoria mediante os desafios encontrados, e por colocar pessoas importantes e especiais que contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Leudemar Paiva e Roseli Terezinha dos Santos Paiva, minha irmã Laura Vitória Paiva, meu irmão Marcos Roberto Paiva, por todo carinho e suporte fornecido em todos os momentos desta etapa.

A minha noiva/namorada Lariane Marcon de Araujo, por toda a paciência, dedicação, motivação, carinho e apoio fornecido em todos os momentos desta etapa importante da minha vida.

Ao professor, amigo e orientador Flávio Gurgacz, pela sua disponibilidade, dedicação, compreensão e paciência, sempre cooperando na resolução dos problemas encontrados ao longo do trabalho e todos os ensinamentos transmitidos.

Ao colega Jonas Gralick, por toda a sua dedicação, esforço, paciência e comprometimento junto aos estudos e ensaios, que nunca mediu esforços para realização das atividades diretas e indiretas ao programa.

Aos colegas Danilo Leite, Daniel Tonello, Paulo Bueno e Ana Luiza Wnuk pelo auxílio e troca de ideias ao longo do mestrado.

À secretária Vanderléia Schmidt, por todas as dúvidas sanadas e pelos importantes lembretes em todo o período do mestrado.

Ao Sr. Edgar pela compreensão, auxílio e disponibilidade fornecida e aos demais professores, colegas e funcionários da Unioeste, que de alguma forma contribuíram e participaram dessa conquista tão importante.

“Você não é derrotado quando perde. Você é derrotado quando desiste.”

Dr. Gregory House

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ANOVA – Análise de Variância
APMS – Antes do ponto morto superior
B% – Porcentagem de biodiesel (0-100%) em uma mistura binária com diesel
B0 – 0% de Biodiesel
B8 – 8% de Biodiesel
B15 – 15% de Biodiesel
B20 – 20% de Biodiesel
CO₂ – Dióxido de carbono
cm³ - centímetros cúbicos
Cv – Cavalo Vapor
°C – Graus Celsius
E% - Porcentagem de etanol na mistura
E0 – 0% de etanol
E1 – 1% de etanol
HC – Hidrocarbonetos
Ht – Potência Teórica
Hi – Potência indicada
He – Potência efetiva
Há – Potência de atrito
Ho – Potência observada
Hr – Potência reduzida
IE – Índice de elasticidade
ICO – Ignição por Compressão
KW – Quilowatts
kgfm – Quilograma-força x metro
LAMA – Laboratório de Máquinas Agrícolas
mbar – Pressão barométrica
N*m⁻¹ – Newton x metro
P° - Ponto de injeção em graus
P0 - 26° APMS
P2 - 28° APMS
P4 - 30° APMS
P-2 - 24° APMS
TDP – Tomada de Potência
rpm – Rotações por minuto
RR – Reserva de rotação
RT – Reserva de torque
UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
(°) – posição angular
(%) - porcentagem

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Motor a Diesel 4 tempos ciclo diesel	5
Figura 2 – Diagrama de taxa de liberação de calor do motor ciclo diesel em diferentes fases da combustão (HEYWOOD,1988).	9
Figura 3 - Curvas características de desempenho de um motor diesel e principais pontos do funcionamento a plena carga.	14
Figura 4 - Princípio de funcionamento de um freio dinamométrico.....	17
Figura 5 - Trator Massey Ferguson, modelo MF265 utilizado para os ensaios.	19
Figura 6 - Configuração do ensaio.	21
Figura 7 – Referencia genuína do ponto inicial de injeção da bomba injetora.	24
Figura 8 – Referencia genuína do ponto inicial de injeção, com adequação para o ajuste mecânico da bomba injetora.....	24
Figura 9 - Tela de visualização de dados do Software <i>EGGERS PowerControl®</i> v2.1.	25
Figura 10 - Dinamômetro EGGERS, modelo PT170.	26
Figura 11 - Fluxômetro EGGERS modelo FM3-100 (A), Fluxograma do sistema de medição (B)	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados técnicos fornecidos pelo fabricante do trator agrícola utilizado nos ensaios dinamométricos.....	21
Tabela 2 - Composição dos tratamentos a serem ensaiados com ponto de injeção avançado e atrasado em relação ao original (0°).....	22
Tabela 3 - Composição em que foi ensaiado com ponto de injeção avançado e atrasado em relação ao original (0°).	25
Tabela 4 - Esquema de análise de variância de um experimento no esquema de parcela subdividida com I tratamentos primários, K tratamentos secundários e J repetições, nos delineamentos inteiramente casualizado.	29
Tabela 5 - Variação das condições do ambiente durante os ensaios.....	30
Tabela 6 - Potência máxima (cv) dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.....	31
Tabela 7 - Potência máxima (cv) dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e etanol.	32
Tabela 8 - Desdobramento dos valores de Potência máxima (cv) dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e etanol.....	32
Tabela 9 - Desdobramento dos valores de torque máximo (N/m), dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel sem etanol.	33
Tabela 10 - Desdobramento dos valores de torque máximo (N/m), dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e etanol.....	33
Tabela 12 - Torque na potência máxima (N/m) dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.....	34
Tabela 13 - Torque na potência máxima (N/m) dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e etanol.	34
Tabela 13 - Desdobramento dos valores de consumo específico mínimo ($\text{g kw}^{-1} \text{ h}^{-1}$) entre ponto de injeção com cada percentual de Biodiesel sem etanol.....	35
Tabela 14 - Consumo específico mínimo ($\text{g kw}^{-1} \text{ h}^{-1}$) do ponto de injeção com cada percentual de Biodiesel com etanol.....	36
Tabela 15 - Consumo horário ótimo (l/h) em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.....	36
Tabela 16 - Índice de elasticidade em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.....	37

Tabela 17 - Índice de elasticidade em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e etanol.	37
Tabela 18 - Reserva de torque em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.....	38
Tabela 19 - Reserva de torque em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e etanol.	38
Tabela 20 - Reserva de rotação em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.....	39
Tabela 21 - Reserva de rotação em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e etanol.	39

PAIVA, Paulo Henrique. Me. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Março de 2018. **Alteração do Ponto de Injeção no desempenho de um Motor Agrícola operando com biocombustíveis.** Orientador: Prof. Dr. Flávio Gurgacz.

RESUMO

O trator é a máquina agrícola mais utilizada na grande gama de operações existentes nas propriedades rurais; sendo uma fonte de energia mecânica para as operações, na qual é disponibilizada por meio do motor, esta máquina converte energia térmica em mecânica. Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho do motor de um trator agrícola, utilizando como combustíveis: o diesel puro A-S500, misturas binárias (diesel-biodiesel) e ternárias (diesel-biodiesel-etanol). E se tratando de um motor ciclo diesel de alimentação de combustível mecânica, o momento de injeção, conhecido como ponto de injeção também foi modificado, alterando-o em uma ordem de 2° (P2), 4° (P4) e -2° (P-2), antes e após ao ponto de referência de 0° (P0) (original do motor), sendo assim este momento adiantado e atrasado em relação ao original. Para avaliar o desempenho mecânico do trator, os dados coletados nesta pesquisa foram embasados na utilização de um dinamômetro de correntes de Foucault acoplado à tomada de potência, em que as proporções binárias diesel-biodiesel propostas foram: B0, B8, B15 e B20, nas quais ocorreram ensaios sem utilização de etanol (E0) e ensaios utilizando a proporção de 1%(E1) desta mesma substância. Os ensaios dinamométricos ocorreram com quatro repetições. Como referencial para o ensaio e as análises foi aplicado a condição B0P0E0, com 0,14% a mais B0P2E0 apresentou o melhor valor para potência máxima, B0E0P0 e B0E1P0 tiveram os melhores valores de torque, em consumo específico B15E0P2 teve uma redução de 17,0%, já em consumo horário P-2 teve melhores resultados sendo 10,1% de redução. P-2 foi o ponto de injeção com melhores índices de IE, RT e RR.

Palavras-chave: Máquinas agrícolas; Etanol; Biodiesel; Ponto de Injeção; Atraso de Ignição.

PAIVA, Paulo Henrique. Me. State University of the West of Paraná, March 2018. **Change of the Injection Point in the performance of an Agricultural Engine operating with biofuels.** Advisor: Prof. Dr. Flavio Gurgacz

ABSTRACT

The tractor is the most used agricultural machine in the wide range of operations existing in the rural properties; being a source of mechanical energy for the operations, in which it is made available through the motor, this machine converts thermal energy into mechanics. In this context, the objective of this research was to evaluate the performance of the engine of an agricultural tractor using pure A-S500 diesel, binary (diesel-biodiesel) and ternary (diesel-biodiesel-ethanol) blends. In the case of a mechanical diesel fuel cycle engine, the injection time, known as the injection point, was also modified by changing it by 2 ° (P2), 4 ° (P4) and -2 ° (P-2), before and after the reference point of 0 ° (P0) (original of the motor), so that this moment is advanced and delayed in relation to the original. To evaluate the mechanical performance of the tractor, the data collected in this research were based on the use of a Foucault chain dynamometer coupled to the power take-off, in which the proposed diesel-biodiesel proportions were: B0, B8, B15 and B20, in (E0) and tests using the 1% (E1) ratio of this same substance. The dynamometric tests were performed with four replicates. As reference for the test and the analyzes was applied the condition B0P0E0, with 0.14% more B0P2E0 presented the best value for maximum power, B0E0P0 and B0E1P0 had the best torque values, in specific consumption B15E0P2 had a reduction of 17, 0%, already in consumption hour P-2 had better results being 10.1% of reduction. P-2 was the point of injection with better indexes of IE, RT and RR.

Keywords: Agricultural machinery; Ethanol; Biodiesel; Injection Point; Ignition Delay.

SUMÁRIO

RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 Motores de combustão interna.....	3
2.1.1 Motores ciclo diesel	4
2.2 Sistemas de injeção de combustível	6
2.2.1 Momento de injeção de combustível	8
2.3 Combustíveis	11
2.3.1 Biodiesel.....	11
2.3.2 Etanol	12
2.4 Tipos de potência	12
2.4.1 Pontos de interesse	13
2.4.2 Índices e parâmetros de avaliação do desempenho.....	15
2.5 Ensaio dinâmométrico	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Local do experimento.....	19
3.2 Avaliação do desempenho de um motor agrícola	19
3.3 Combustíveis e tratamentos.....	22
3.4 Mudança do ponto de Injeção	23
3.5 Ensaio com dinamômetro.....	25
3.5.1 Dinamômetro	26
3.5.2 Fluxômetro.....	26
3.5.3 Medições complementares.....	28
3.6 Análise Estatística	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Ponto de potência efetiva máxima (ponto 1).	31

4.2	Ponto de torque máximo (ponto 2).....	32
4.3	Ponto de torque de potência efetiva máxima (ponto 3).....	34
4.4	Ponto de consumo específico mínimo (ponto 4)	35
4.5	Ponto de consumo horário ótimo (ponto 5)	36
4.6	Índices e parâmetros de avaliação do desempenho	37
4.6.1	Índice de elasticidade	37
4.6.2	Reserva de torque	38
4.6.3	Reserva de rotação	39
5.	CONCLUSÕES.....	41
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	APÊNDICES.....	48

1. INTRODUÇÃO

O crescimento e desenvolvimento de toda e qualquer sociedade está embasado e conjugado em torno do seu potencial energético, e em paralelo ao seu consequente consumo.

Procurando cada vez ser menos dependente de fontes de energia que não são renováveis, como o gás natural e o petróleo, a matriz energética brasileira vem se atualizando e se adequando, proporcionando a geração e produção de fontes alternativas de energias renováveis que, por sua vez, vêm aumentando no mercado (BEZERRA, 2016).

Deste modo percebe-se que a procura de energia no Brasil, vem crescendo significativamente, entre os anos de 2014 e 2015, obteve-se registro de 7% no consumo de óleo Diesel aplicado ao setor de transporte (BEN, 2015).

No setor agroindustrial, observa-se que o crescimento na produção está relacionado diretamente com a produção de energia (Coldebella et al., 2008). Para LY (2012), a eficiência energética e redução no consumo, bem como, o fornecimento futuro da demanda, deverão ser baseados nas fontes de energia renováveis, que formarão a base da matriz energética.

Esses combustíveis devem ser preferencialmente oriundos de fontes renováveis, não tóxicos; apresentar capacidade de produção em grande escala; possuir características de desempenho, tais como, consumo e potência semelhantes ao do óleo Diesel mineral, porém com menor índice de emissão de poluentes na atmosfera (DE PAULA, 2014; CARRIJO, 2015).

Diante do exposto, a solução mais atrativa tem sido a exploração de fontes alternativas de energia, por meio do desenvolvimento sustentável, uma vez que, elas contribuem para a redução de impactos socioambientais negativos associados à

poluição do ar, do solo e dos recursos hídricos, em comparação com o uso de combustíveis fósseis não renováveis (BERMANN, 2008).

Pode-se ressaltar também que as regulamentações estão cada vez mais rigorosas em relação aos combustíveis utilizados no setor de transporte. Com essa necessidade de substituir os combustíveis fósseis, a fim de conquistar um ambiente mais limpo, pesquisas têm sido direcionadas com o intuito de obter fontes alternativas e variáveis que minimizem a sujeição dos combustíveis fósseis (SCARPIN, 2014).

Dentre as matrizes alternativas, os combustíveis propostos para motores ciclo diesel, destacam-se o biodiesel e a mistura diesel-etanol, as quais ganharam uma grande tendência, pois ambos são designados como fontes de energia renováveis.

E se tratando de um motor ciclo diesel com alimentação feita por meio de um conjunto mecânico conhecido como bomba injetora, este deve trabalhar referencialmente em sincronismo mecânico do motor, possibilitando atender às suas respectivas ordens de injeção e momento de injeção de combustível (BOSCH, 2005).

A mudança do momento do ponto de injeção de combustível em um sistema de injeção mecânico de um motor ciclo diesel, partindo-se da referência estabelecida pelo fabricante do motor, tende a alterar suas características de funcionalidade.

Deste modo, essa pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho de um motor agrícola ciclo diesel, operando com misturas de diesel, biodiesel e etanol, em função da alteração do momento de injeção de combustível. Em relação ao referencial genuíno estabelecido pelo fabricante.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A mecanização na agricultura está presente desde o início do século passado e sua evolução tecnológica proporcionou um aumento gradativo da produtividade, em que profundas mudanças das técnicas de produção propiciaram inovações no setor de maquinários agrícolas (DOS REIS, 2013).

O trator é um dos itens mais importantes da atividade em campo, (GABRIEL et al., 2004). Para a realização das operações e seleção da máquina e implemento, pode-se avaliar diversos elementos favoráveis à utilização do trator, como a facilidade de manutenção, preço de aquisição, potência, conforto e manobrabilidade, dado que, o conhecimento da eficiência energética dos equipamentos também deve ser considerada em sua escolha (SILVEIRA; SIERRA, 2010).

De acordo com MIALHE (1980), o fornecimento de potência mecânica, na maioria das vezes, é oriundo da Tomada de Potência (TDP), que é um elemento mecânico disposto externamente na parte traseira do trator. Conforme a avaliação do autor, o desempenho na TDP é uma forma indireta de verificar o desempenho do motor, via ensaio dinamométrico. Com os ensaios dinamométricos impostos na TDP, pode-se obter os valores do consumo específico de combustível em pontos determinados de funcionamento do motor, que retratam o percentual de potência e rotação do motor em relação à potência nominal (SILVEIRA et al., 2010).

2.1 Motores de combustão interna

O motor de combustão interna é uma máquina que admite o ar da atmosfera e o combustível do tanque, unindo esses dois elementos para formar a mistura proporcional de ar + combustível da forma mais ideal possível, comprimindo-a em um

local denominado câmara de combustão. Dados como pressão, temperatura e volumes coletados deste ciclo podem ser usados para avaliar o processo de troca e eficiência do gás de um motor (ROSSETTO, 2014).

A eficiência volumétrica apenas permanece constante para todas as condições atmosféricas na abertura máxima da borboleta, e a eficiência de combustão poderá cair em função de combustões inadequadas, que podem ser geradas por incompatibilidade mecânica do motor com o combustível utilizado (BOSCH, 2005).

2.1.1 Motores ciclo diesel

O estudo dos motores de ignição por compressão (ICO) teve início a partir do trabalho de dois pesquisadores Akroyd Stuart e Rudolf Diesel, que em 1897 testaram seu primeiro protótipo funcional (MARTINS, 2013).

Os motores ciclo diesel fornecem fator elevado de carga e devem suportar o uso de potências próximas da máxima. Motores aplicados em máquinas agrícolas devem suportar fornecimento de potência máxima por um longo período de tempo (PODORODECZKI, 2016).

Um motor de ciclo Diesel possui itens básicos de um motor alternativo, formado por um conjunto de êmbolo e cilindro, que são responsáveis pela compressão do ar, e fornecimento de energia mecânica ao conjunto biela e manivela, equivalente a energia responsável pela transmissão de movimento a um volante de massa do motor (ROSO, 2016). O funcionamento é realizado em 4 etapas, de acordo com o movimento do pistão e da árvore de manivelas, compreendendo a fase de admissão, na qual a válvula se abre para a entrada do ar, em seguida é fechada, iniciando o tempo de compressão. Durante o movimento de subida do êmbolo, acontece a injeção de combustível, na qual a mistura é injetada dentro do cilindro e inflamada, com isso o

êmbolo é impulsionado para baixo, realizando o tempo de trabalho do motor e em paralelo expulsando os gases queimados para novamente iniciar o ciclo (GARCIA,1992).

Na Figura 1 pode-se observar as etapas dos ciclos de um motor alternativo 4 tempos ciclo diesel.

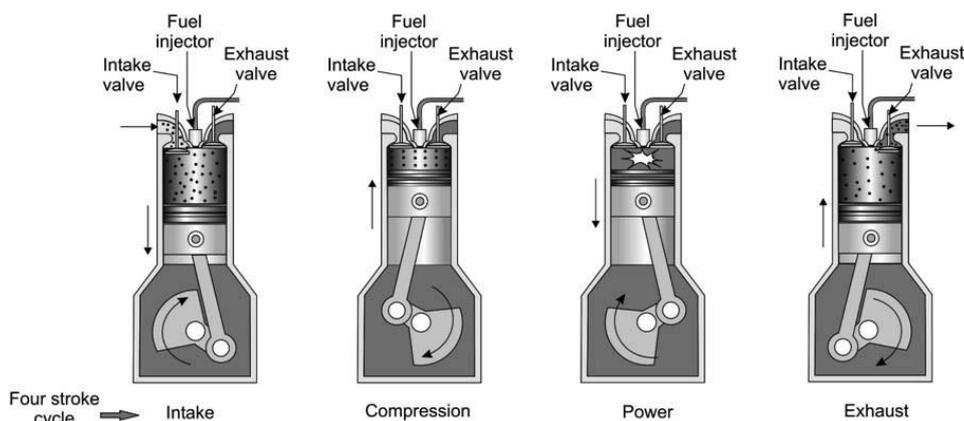


Figura 1 - Motor a Diesel 4 tempos ciclo diesel
Fonte (EIT, 2016).

Para BOSCH (2005) e IACONO (2017) o processo de injeção de combustível deve entender e satisfazer as seguintes condições:

- Pulverização: quanto menores forem as gotas pulverizadas, mais facilmente se dará a combustão, pois a área superficial específica da totalidade do combustível injetado será maior;
- Penetração: convém que algumas gotas sejam maiores que outras. Gotas pequenas vaporizam perto do bico injetor, enquanto gotas maiores terminarão a sua vaporização perto das paredes da câmara de combustão, usando o ar desta região;
- Gradiente de injeção: os recentes sistemas de injeção controlados eletronicamente e com injetores de resposta rápida (piezoelétricos) permitem uma liberdade extrema dos gradientes de injeção, o que otimiza a combustão, reduzindo assim, o ruído e a emissão de poluentes.

Com o primeiro protótipo de motor diesel, observou-se que o controle da entrada de combustível precisa ser rigoroso, sendo que esse mecanismo tem sido aperfeiçoado ao longo do tempo, no qual a injeção de combustível é monitorada eletronicamente, com objetivo de controlar a emissão de poluentes e consumo de combustível (MOREIRA, 2008).

2.2 Sistemas de injeção de combustível

Sistemas mecânicos consistem em uma bomba injetora de acionamento e controle mecânico, que tem como função injetar mecanicamente o combustível no momento e volume necessários para funcionamento do motor, independente da sua carga e rotação (BOSCH, 2005).

Assim, a bomba injetora desenvolve a pressão necessária para a injeção do combustível e o injeta nos respectivos cilindros do motor diesel. Os fenômenos de combustão no motor dependem decisivamente do volume de combustível que é enviado ao motor, levando em consideração a maneira e em que momento esta quantidade é injetada (BOSCH, 1986).

No início da injeção de combustível, a temperatura e pressão do ar são superiores às do ponto de ignição do diesel, com isso se dá a autoignição das frações de combustível que já estão diluídas com o ar (ANDRADE, 2007; DE AGUIAR, 2016). A pressão e temperatura no interior do cilindro elevam-se ainda mais, com a continuidade do movimento do êmbolo, na qual se reduz o atraso da ignição da proporção combustível injetada, o processo de mistura do combustível com o ar e sua combustão continuam durante a expansão, até todo o combustível ter sido consumido (MOREIRA, 2008).

A injeção de combustível do motor ciclo diesel se inicia antes do ponto morto superior (PMS) e continua durante a descida do pistão (BUENO, 2016).

Segundo BOSCH (2005), para motores diesel utilizam-se os seguintes sistemas de injeção mecânica de combustível:

- Bomba injetora em linha com regulagem mecânica ou eletrônica: a bomba injetora em linha é usada principalmente em motores utilitários. O número de elementos de bomba correspondente ao número de cilindros do motor, são acondicionados em uma carcaça comum e acionados por um eixo de comandos situado na própria carcaça. Em bombas injetoras em linha, o avanço da injeção ocorre através de uma hélice de comando localizada em cima do elemento ou por meio de um avanço centrífugo externo.
- Bomba distribuidora com regulador de rotação mecânico ou regulador eletrônico com avanço integrado (rotativa): a bomba distribuidora de pistão axial é usada particularmente em motores diesel de alta rotação. Nela há um pistão central, o qual é acionado por um anel de came de comando que assume a geração de pressão e a distribuição aos cilindros individuais, um came de comando ou uma válvula magnética dosam o débito.

Para aperfeiçoar o consumo de combustível, surgiu na década de 80 a injeção eletrônica a diesel (VARELLA; SANTOS, 2010). Esse sistema permite um controle melhor do processo de combustão, se comparado aos sistemas mecânicos, em função do controle eletrônico da injeção de combustível, resultando em melhor queima e conseqüentemente na redução de poluentes (ELKELAWY, 2014).

2.2.1 Momento de injeção de combustível

Para ROSA (2014) e MACHADO (2008), a combustão em um motor diesel é um processo físico e químico, que tem como início a injeção de combustível e termina com a exaustão dos gases de escape. Em função disso gera-se uma complexidade nesse processo, devido a combustão ser influenciada por fatores como, o tempo de injeção, pressão de injeção, momento de injeção, pressão interna do cilindro, dinâmica de formação de mistura, temperatura do ar e temperatura do combustível.

Ainda segundo os autores, a vaporização do combustível é um processo que gera complexidade em função da variedade de possíveis compostos presentes nos combustíveis, que podem modificar as características físicas e químicas ideais do combustível.

Com isso a eficiência de um motor diesel depende diretamente do momento em que se inicia o processo de combustão. Sendo este, controlado particularmente pelo início da injeção, pressão de injeção e volume de injeção, em que a vaporização correta é ideal para a eficácia do processo (BOSCH, 2005).

A combustão diesel é diferente da combustão de ignição por centelha em alguns aspectos, dentre eles, destaca-se a não utilização de centelha para o início da combustão, uma vez que, as condições favoráveis de pressão e temperatura são suficientes para conduzir a autoignição do combustível (GUEDES, 2017).

O processo de combustão se desencadeia através da difusão da chama, em que o combustível se encontra inicialmente na fase líquida, desintegrando-se na forma de pequenas gotículas quando é injetado (HEYWOOD, 1988). A orientação do spray que sai do injetor é fundamental para o processo inicial da mistura ar/combustível nas injeções, pois possibilita a vaporização, que acontece após a desintegração, que desencadeou a combustão.

Para detalhar o processo descrito por Heywood 1988, na Figura 2 há uma descrição gráfica desse tipo de combustão, seguido por interpretações dos fenômenos que ocorrem durante o processo:

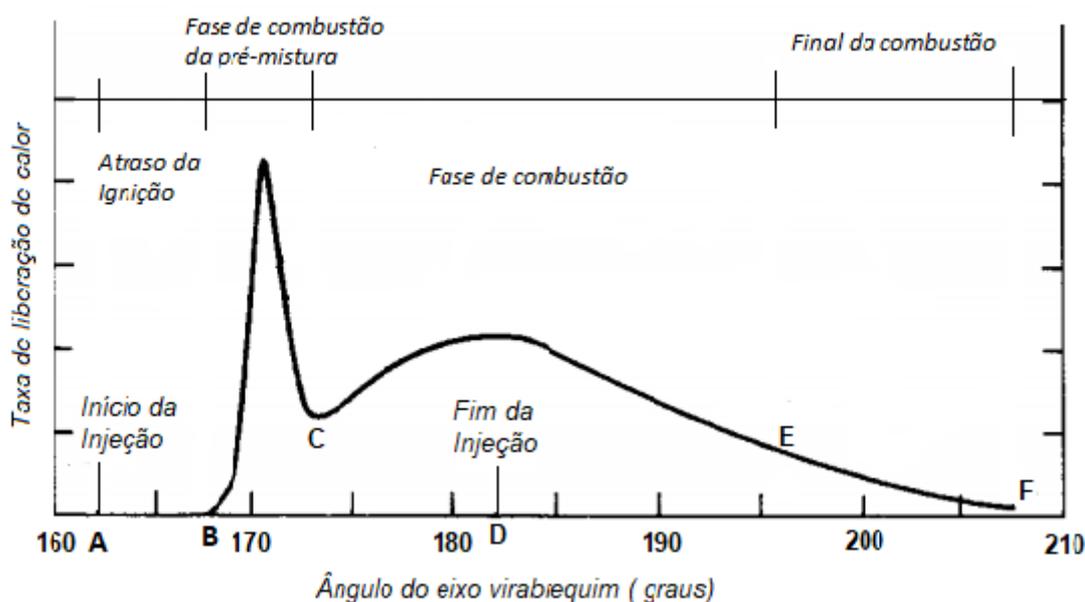


Figura 2 – Diagrama de taxa de liberação de calor do motor ciclo diesel em diferentes fases da combustão (HEYWOOD,1988).

- Trecho A-B: o primeiro período refere-se ao atraso da ignição, o qual diz respeito ao intervalo entre o instante de início da injeção de combustível até o desencadeamento da combustão;

- Trecho B-C: no segundo período acontece a combustão da pré-mistura, a qual corresponde a uma combustão rápida que acontece, logo antes da combustão propriamente dita, e continua até o ponto de máxima pressão do ciclo.

- Trecho C-E: o terceiro período do processo é a combustão que sucede o momento de combustão da pré-mistura. Nesse trecho a combustão se propaga de forma mais lenta. Essa fase da combustão é realizada por frente de chama, em que ocorre o fenômeno da difusão pela câmara de combustão, que alcança as parcelas da mistura ar/combustível que ainda não estavam propícias à autoignição;

- Trecho E-F: nesse momento final do processo de combustão, a liberação de energia é cada vez menor, até a conclusão do ciclo determinado pela abertura das válvulas de exaustão, simultaneamente a redução da temperatura e pressão no interior do cilindro;

- Trecho A-D: esse período refere-se ao intervalo entre o instante do início da injeção de combustível até o seu fim, o qual representa o débito total para alimentação o ciclo de combustão.

Como a referida pesquisa altera o momento em que o combustível é injetado, isto faz com que o atraso da ignição seja modificado.

O atraso da ignição compreende o intervalo entre o tempo de início da injeção de combustível e o início da combustão, configurando-se como um parâmetro de extrema importância para o fenômeno em questão. O intervalo de tempo do atraso da ignição está associado à fase de preparo da parcela de combustível na câmara e o início da ignição da mesma, portanto, o desempenho do motor é influenciado diretamente pela extensão desse intervalo (HEYWOOD, 1988; GUEDES, 2017).

Logo alguns fatores podem potencialmente interferir no atraso da ignição, como:

- Avanço da injeção de combustível: o instante em que acontece a injeção de combustível é um dos fatores que mais influencia o atraso da ignição, já que injeções adiantadas levam o combustível a se deparar com condições de temperaturas menores para o ar contido no cilindro, aumentando o atraso da ignição (KALE, 2017).

- Qualidade do combustível: o número de cetano é um relevante indicador da qualidade de ignição do combustível, pois ele se relaciona diretamente com o atraso de ignição, conseqüentemente, quanto menor o número de cetano maior é o atraso da ignição (SHAHABUDDIN, 2013; OZTURK, 2015).

O número de cetano é um adimensional que determina o retardo de ignição do combustível, e em um nível elevado pode causar, principalmente, autoignição em ângulos de biela inadequados e em níveis baixos podem causar aumento do atraso na ignição (MACHADO, 2008; KALE, 2017).

2.3 Combustíveis

Pode-se dizer que a utilização de biocombustíveis apresenta atrativos relevantes, pois esses combustíveis produzidos por meio da biomassa constituem fontes de energia renováveis, e possuem ciclos produtivos que contribuem bem menos para o aquecimento global do que os combustíveis fósseis. Especialmente, para os motores de ignição por compressão, é possível eleger-se o biodiesel e o etanol como biocombustíveis promissores (CHURCHILL, 2017; GUEDES, 2017; RODRIGUES, 2017).

2.3.1 Biodiesel

A legislação brasileira, pela Lei Nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, define que o biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores ciclo diesel, biodegradável, não tóxico, livre de enxofre e compostos aromáticos, com potencial de substituição total ou parcial dos combustíveis fósseis (BRASIL, 2005).

Apesar de apresentar menor poder energético do que o diesel, o biodiesel contribui para aumentar a quantidade de cetano (GUPTA, 2015).

2.3.2 Etanol

O etanol caracteriza-se como um combustível incolor, volátil, inflamável e totalmente solúvel em água. Existem dois tipos oficialmente regulamentados: o etanol anidro e o etanol hidratado. O etanol anidro é praticamente ausente de água, com uma porcentagem de álcool em massa de no mínimo 99,3%, já no etanol hidratado, a porcentagem de álcool em massa deve estar entre 92,6% e 93,8% (PETROBRAS, 2015).

O combustível é extensivamente empregado em sua forma hidratada, ou misturado à gasolina e pode ser ainda mesclado ao diesel quando em sua forma anidro. A presença de etanol anidro na mistura com o diesel ocasiona acréscimos no atraso na ignição e reduz o poder calorífico da mistura (VENU, 2017).

2.4 Tipos de potência

Mialhe (1996) descreve que “o balanço das transformações de energia que ocorrem em um motor agrícola define uma série de potências”, as quais são definidas pelo autor como:

- Potência teórica ou motora (H_t): potência que seria obtida caso fosse possível a transformação total da energia resultante da combustão em energia mecânica;
- Potência indicada (H_i): é a potência desenvolvida no cilindro do motor, como resultado da ação da pressão média dos gases da combustão sobre a cabeça do êmbolo;
- Potência efetiva ou potência ao freio (H_e): potência desenvolvida no volante do motor e medida por meio dos dinamômetros de absorção ou freios dinamométricos. É a potência que efetivamente está disponível no motor para atender as exigências

de sua aplicação. Pode ser facilmente calculada a partir do valor de torque em sua correspondente rotação do motor;

- Potência de atrito (H_a): potência consumida pelo próprio motor para vencer o atrito nos mancais, êmbolos e demais partes móveis, bem como, para realizar a aspiração do ar (motores ciclo diesel) ou da mistura ar e combustível (motores ciclo otto) e a expulsão dos gases de escape;

- Potência observada (H_o): potência que foi medida na bancada dinamométrica, sob determinadas condições, especificadas por um método de ensaio normalizado;

- Potência reduzida (H_r): potência observada reduzida para as condições atmosféricas padrão.

2.4.1 Pontos de interesse

Essas fontes de potência são responsáveis por gerar dados gráficos e informações que se fazem necessárias para análise e eficácia e utilização dos motores.

De acordo com MIALHE (1996), os dados apresentam a existência de cinco pontos de particular interesse, as curvas que caracterizam o desempenho de motores, em geral os dados dos ensaios são demonstrados de modo simplificado, por meio de um gráfico (Figura 3), que ilustra os pontos de maior relevância.

- Ponto 1 - Ponto de potência efetiva máxima: representa o maior valor obtido pelo produto (torque x velocidade angular) no ensaio do motor;

- Ponto 2 - Ponto do torque de potência efetiva máxima: é o valor do torque desenvolvido que possibilita a obtenção da potência máxima. Esse ponto também marca o limite superior de rotação, que define a faixa de utilização do motor;

- Ponto 3 - Ponto de torque máximo: expressa condição operacional, na qual ocorre o maior valor para a pressão média efetiva capaz de ser desenvolvida nos cilindros do motor. Esse ponto marca o limite inferior da rotação da faixa de utilização do motor;

Ponto 4 - Ponto de consumo específico mínimo: é o ponto em que ocorre o máximo valor de rendimento termodinâmico e, portanto, condições operacionais ideais em termos de rotação e torque para o motor;

- Ponto 5 - Ponto de consumo horário ótimo: corresponde à condição operacional em que ocorre o ponto de consumo específico mínimo.

Na Figura 3, são descritos os dados de curvas características de desempenho de um motor diesel e os principais pontos do funcionamento a plena carga.

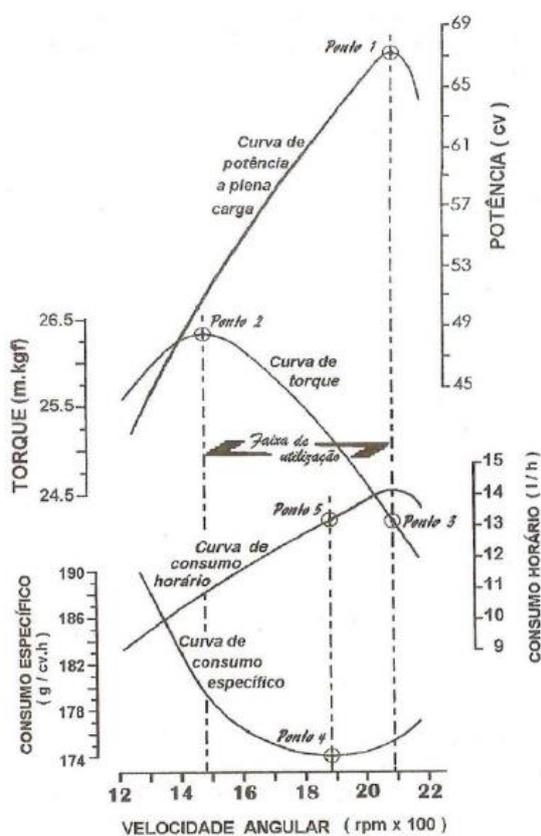


Figura 3 - Curvas características de desempenho de um motor diesel e principais pontos do funcionamento a plena carga.

Fonte: Mialhe, L.G. (1996).

Os parâmetros de avaliação do desempenho de motores são alcançados por meio do princípio da comparabilidade das curvas de torque e potência. A realização dos ensaios requer que sejam feitas em bancadas dinamométricas com utilização de um método normatizado, que define as condições e os procedimentos (MIALHE, 1996).

2.4.2 Índices e parâmetros de avaliação do desempenho

A partir dos valores coletados nos ensaios, é possível calcular os seguintes parâmetros de desempenho: índice de elasticidade; reserva de torque; reserva de rotação.

As velocidades de torque máximo (ponto 2) e de potência máxima (ponto 1) delimitam a faixa de utilização do motor, o qual apresenta funcionamento estável, de ganho do torque no ponto 3 para o ponto 2, com a redução da velocidade angular, possibilitando resistência no torque em pequenas variações, essa capacidade é conhecida como índice de elasticidade (IE), estes parâmetros combinados são importantes nas tomadas de decisão dos trabalhos do campo, para que se possa tirar maior proveito da máquina que se tem disponível.

O cálculo do índice de elasticidade (IE) é realizado a partir da Equação 1:

$$IE = \left(\frac{T_{max}}{T_{pmax}} \right) \times \left(\frac{RPM_{pmax}}{RPM_{tmax}} \right) \quad (1)$$

Onde:

Tmax - Torque máximo observado (Ponto 2)

T_{max} - Torque de potência máxima observada (Ponto 3)

RPM_{pmax} - Rotação de potência máxima

RPM_{tmax} - Rotação no torque máximo

Para a reserva de torque [%] é aplicado a Equação 2:

$$RT = \left[\left(\frac{T_{max}}{T_{pmax}} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (2)$$

Onde:

T_{max} - Torque máximo observado (Ponto 2)

T_{pmax} - Torque de potência máxima observada (Ponto 3)

E para o cálculo da reserva de rotação [%], a Equação 3:

$$RR = \left[\left(\frac{RPM_{pmax}}{RPM_{tmax}} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (3)$$

Onde:

RPM_{pmax} - Rotação de potência máxima

RPM_{tmax} - Rotação no torque máximo

2.5 Ensaio dinâmico

Os ensaios dinâmicos realizados em laboratório seguem à norma DIN 70020 e DIN ISO 3046 para a obtenção das curvas de desempenho, dos parâmetros de torque e potência, justamente para contrapor as demandas exigidas pelo motor, pois nas tarefas cotidianas a potência desejável está condicionada a cargas variáveis,

que poderão impor à máquina sobrecarga ou deficiência momentânea no torque (MIALHE, 1996).

Esses ensaios devem ser executados em uma TDP, conforme determinado pelo fabricante em todos os tratores. Para os ensaios é necessária uma tomada de potência capaz de transferir a potência total fornecida pelo motor, se a mesma for disponível (ABNT NBR ISO 789-1, 2014).

Máquinas de verificação de torque/potência conhecidas como dinamômetros são máquinas com capacidade de mensurar o valor torque e potência de um motor em suas diversas fases e escalas de trabalho ao longo de um ensaio (HAICAL, 2009).

O funcionamento de dinamômetros de Corrente de Foucault está baseado na criação de correntes elétricas, que se formam dentro de um rotor metálico condutor que está dentro do campo magnético variável. A variação da corrente produz torque no dinamômetro, e a medição dele é feita através da célula de carga que está acoplada mecanicamente a uma alavanca (GALLO, 2017).

A Figura 4 representa o princípio de funcionamento de um dinamômetro de corrente contínua.

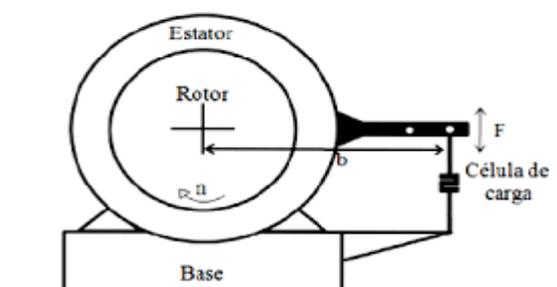


Figura 4 - Princípio de funcionamento de um freio dinâmico.
Fonte: (FIORESE et al., 2012)

Algumas informações foram necessárias para que o software realizasse as devidas correções, conforme prevê a norma DIN 70020 e DIN ISO 3046, as quais

devem ser informadas pelo usuário, como: pressão atmosférica, temperatura ambiente, informações do trator a ser ensaiado, rotação do motor e rotação da TDP.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Máquinas Agrícolas, Tratores e Motores (LAMA), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizada na cidade de Cascavel, Paraná, Brasil, com latitude (S) de 24°59', longitude (W) de 53°26' e altitude 755m.

3.2 Avaliação do desempenho de um motor agrícola

A avaliação de desempenho de motor aconteceu por meio da TDP de um trator, que foi acoplada via eixo cardã ao dinamômetro, conforme Figura 5.



Figura 5 - Trator Massey Ferguson, modelo MF265 utilizado para os ensaios.

Para a uniformidade dos ensaios, realizou-se o aquecimento do motor colocando-o em funcionamento por um período de 20 minutos, para gerar a temperatura do óleo do motor e fluido de arrefecimento ideais para trabalho com carga. Para que não ocorresse a influência de uma mistura de combustível em relação a outra, em todos momentos de troca de combustível, houve a drenagem total do reservatório, bem como, do filtro e tubulações, em que o combustível percorreu.

Foram produzidos quatro ensaios para cada mistura, porém descartou-se a primeira medição, com intuito de minimizar qualquer possibilidade de influência no resultado, restando assim, três medições para análise.

Para os ensaios, foi utilizado um trator com 1076 horas de uso, segundo instrumento do maquinário, que tem 29 anos de uso, e pode ter mais horas de uso do que o valor mencionado do instrumento. O mesmo passou por um ciclo de manutenção preventiva antes dos ensaios, em que foram feitas troca de óleo do motor e de todos os filtros; regulagem de válvulas; reparo dos bicos injetores e da bomba injetora. Todos os procedimentos seguiram as orientações e recomendações do fabricante.

Na Figura 6 está representado o esquema de montagem do conjunto para o ensaio e coleta de dados da pesquisa, sendo:

- Em amarelo o eixo cardã, de um lado com entalhado de 6 (seis) estrias e diâmetro de 35mm que faz a ligação mecânica a TDP do trator, e o lado oposto possui um entalhado de 6 (seis) estrias e diâmetro de 45mm que faz a ligação mecânica ao dinamômetro;
- Em verde, estão as informações do dinamômetro, que são transmitidos com auxílio de uma conexão bluetooth e dos equipamentos complementares de medição que alimentam o software;

- Em vermelho os dados de medição do fluxômetro, apresentando os valores de fluxo de combustível do tanque externo e sistema da bomba injetora, fazendo a transmissão dos dados através de um cabo conectado ao dinamômetro.

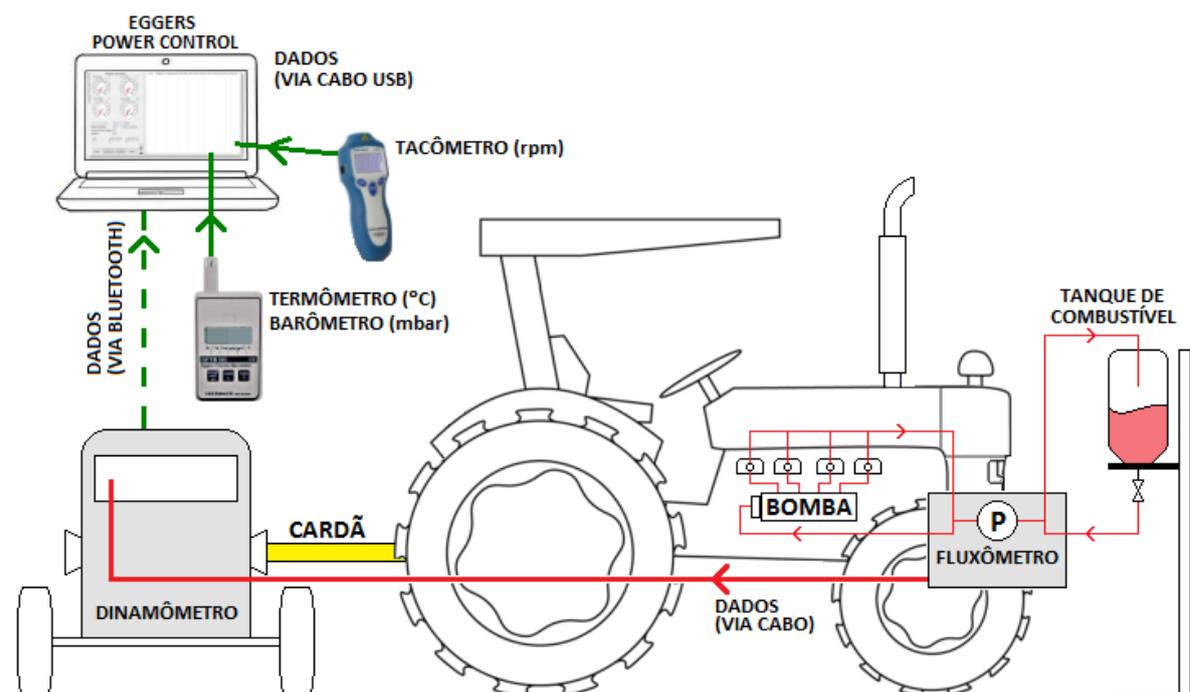


Figura 6 - Configuração do ensaio.
Fonte: (IACONO, 2017).

Na Tabela 1 apresentam-se as características técnicas do trator fornecidas pelo fabricante.

Tabela 1- Dados técnicos fornecidos pelo fabricante do trator agrícola utilizado nos ensaios dinamométricos.

Item	
Marca / modelo	Massey Ferguson / MF 265
Motor/ modelo	Perkins / AD4.203
Aspiração / Injeção	Natural / Direta
Potência	61cv a 2000 rpm
Torque	23,3 kgfm a 1300 rpm
Número de cilindros	4
Cilindrada	3327 cm ³
Tipo de injeção	Bomba rotativa
Ponto de Injeção	26° APMS
Taxa de compressão	18,5:1

Fonte:(MASSEY FERGUSON) adaptado pelo autor.

3.3 Combustíveis e tratamentos

Nos ensaios foram utilizados como combustíveis o diesel tipo A S500; biodiesel puro; e etanol anidro (99,6% de pureza), este biodiesel é produzido através da rota metilica e tem sua composição formada por: óleo de soja (68%); gordura bovina (25%); gordura de porco (5%); e óleo de aves (2%), este foi fornecido por meio de doação pela empresa BSBIOS - Indústria e Comércio de Biodiesel Sul Brasil S/A., de Marialva-PR, e segue a resolução da ANP n° 45 de 25/08/2014.

Para a prática dos ensaios foram realizadas misturas de diesel tipo A S500 e biodiesel em níveis de B8, B15 e B20, variando com 1% de etanol anidro. Essas misturas foram preparadas no laboratório LAMA, e as proporções medidas por meio de uma proveta graduada em escala de mililitros (ml) de capacidade de 0,5L.

As misturas foram elaboradas sempre em uma sequência, na qual foi preenchida a fração de diesel, depois a fração de biodiesel e por fim, a fração de etanol. Considerando que esse motor agrícola é projetado para trabalhar apenas com diesel, realizou-se também um ensaio sem misturas (B0E0P0).

A Tabela 2 mostra as porcentagens do volume de cada mistura e respectivamente o ponto de injeção (°).

Tabela 2 - Composição dos tratamentos a serem ensaiados com ponto de injeção avançado e atrasado em relação ao original (0°).

Tratamento	Diesel "A"	Biodiesel	Etanol Anidro	Ponto Modificado
		(%)		(°)
B0E0P0	100	0	0	0°
B8E0P0	92	8	0	0°
B15E0P0	85	15	0	0°
B20E0P0	80	20	0	0°
B0E0P02	100	0	0	02°
B8E0P02	92	8	0	02°
B15E0P02	85	15	0	02°
B20E0P02	80	20	0	02°

B0E0P04	100	0	0	04°
B8E0P04	92	8	0	04°
B15E0P04	85	15	0	04°
B20E0P04	80	20	0	04°
B0E1P0	99	0	1	0°
B8E1P0	91	8	1	0°
B15E1P0	84	15	1	0°
B20E1P0	79	20	1	0°
B0E1P02	99	0	1	02°
B8E1P02	91	8	1	02°
B15E1P02	84	15	1	02°
B20E1P02	79	20	1	02°
B0E1P04	99	0	1	04°
B8E1P04	91	8	1	04°
B15E1P04	84	15	1	04°
B20E1P04	79	20	1	04°
B0E0P02	100	0	0	-02°
B8E0P02	92	8	0	-02°
B15E0P02	85	15	0	-02°
B20E0P02	80	20	0	-02°
B0E1P02	99	0	1	-02°
B8E1P02	91	8	1	-02°
B15E1P02	84	15	1	-02°
B20E1P02	79	20	1	-02°

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

3.4 Mudança do ponto de Injeção

O momento de injeção de combustível é estabelecido mecanicamente por meio do sincronismo da bomba injetora com o motor, sendo este o ajuste mecânico a ser alterado.

A bomba injetora (rotativa ou em linha) possui furos oblongos na sua fixação ao motor, que permitem sua movimentação em relação ao seu eixo de acionamento, assim é possível, que o mesmo sistema mecânico seja aplicado em modelos diferentes de motor, modificando-se apenas o ponto de injeção e seu respectivo volume de injeção de motor para motor.

Esses sistemas possuem a referência mecânica de um alinhamento de linhas, que são estampadas mecanicamente ao bloco do motor e ao corpo da bomba injetora.

Logo, quando alinhada uma a outra obtém-se o referencial de momento de injeção do motor, sendo este estabelecido pelo fabricante. Como a bomba injetora possui os furos oblongos na sua fixação e pode-se adicionar uma escala graduada em graus, tanto no bloco do motor como na bomba injetora, é possível movimentar o conjunto mecânico de injeção de combustível, pois seu movimento em sentido horário e anti-horário proporciona o avanço e o atraso em graus do momento de injeção.

Na Figura 07 é possível visualizar o local e a referência estampados junto ao conjunto móvel da bomba injetora e do bloco do motor, logo, na Figura 08 foi evidenciado por um marcador industrial a referência, juntamente com acoplamento da escala graduada, para o controle do ajuste.



Figura 7 – Referência genuína do ponto inicial de injeção da bomba injetora.
Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 8 – Referência genuína do ponto inicial de injeção, com adequação para o ajuste mecânico da bomba injetora.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi trabalhado em valores de $+02^\circ$, $+04^\circ$, -02° em relação ao momento original conhecido como 0° , conforme Tabela 3.

Tabela 3- Composição em que foi ensaiado com ponto de injeção avançado e atrasado em relação ao original (0°).

Alteração	Correspondência angular da árvore de manivelas	Diferença em relação ao ponto original
P-2	24° AMPS	2 graus atrasado
P0	26° AMPS	Valor genuíno
P2	28° AMPS	2 graus adiantado
P4	30° AMPS	4 graus adiantado

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

3.5 Ensaios com dinamômetro

Para as medições de torque, potência e consumo específico do motor, foi realizado o ajuste dos parâmetros software Power Control 2.1, no qual os pontos medidos foram iniciados na rotação máxima do motor e a cada decréscimo de 100 rpm na rotação do motor, uma medição automática era feita pelo software, no qual os ensaios se encerraram em uma rotação estipulada em 1000 rpm no motor. Dessa forma, com os dados obtidos nos ensaios, foram traçadas curvas de potência, torque e consumo específico.

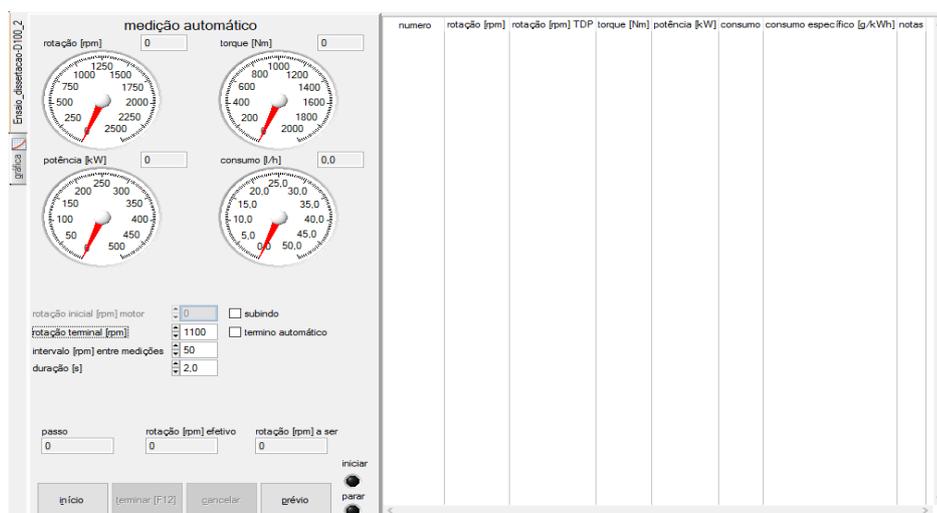


Figura 9 - Tela de visualização de dados do Software *EGGERS PowerControl*® v2.1.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.1 Dinamômetro

Para a obtenção das curvas de desempenho do motor, os parâmetros de torque e potência na TDP, foram mensurados utilizando um dinamômetro com freio magnético por correntes de Foucault da marca Eggers, modelo PT - 170 SE, com capacidade de 300 KW e torque máximo de $3600\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ (Figura 11), que opera conforme norma DIN7 0020.



Figura 10 - Dinamômetro EGGERS, modelo PT170.
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.2 Fluxômetro

Para avaliação do consumo de combustível utilizou-se um fluxômetro (Figura 12A) da marca Eggers, modelo FM 3-100, conectado entre o tanque de combustível externo e o sistema de injeção do motor, o qual via cabo, envia informações junto a um pacote de dados do dinamômetro para o software de gerenciamento Power Control V2.1, cujos dados foram gravados e transferidos a uma planilha eletrônica. A Figura 12B indica um fluxograma de funcionamento do fluxômetro usado nos ensaios.

No primeiro momento, o combustível flui do tanque, passando por um filtro interno do fluxômetro, até a bomba de sucção de combustível (B), manômetro (m), válvula reguladora de pressão (V2) e então retorna ao tanque de combustível. Com o funcionamento do trator, a segunda parte do fluxômetro entra em funcionamento, com isso o combustível não retorna mais ao tanque, o sistema de injeção irá fazer a sucção do combustível e passará pelo medidor de fluxo (P), que mensura o volume de combustível, e então entra no sistema de injeção do trator, passando pelo filtro, bomba injetora e bicos injetores, em que o excedente de combustível que fica nos bicos e bomba, passa por um resfriador e vai novamente para o sistema de injeção do trator.

Para que o controle de medição aconteça de modo correto, o fluxômetro deve ser ligado em série com o ponto de alimentação da bomba injetora e em série com os retornos de combustível da bomba injetora e dos bicos injetores, essa ligação deve ser rigorosamente seguida, para que não ocorram possíveis erros de medição.

Como foi utilizado um reservatório externo para os combustíveis ensaiados, o tanque de combustível do trator foi excluído das ligações.

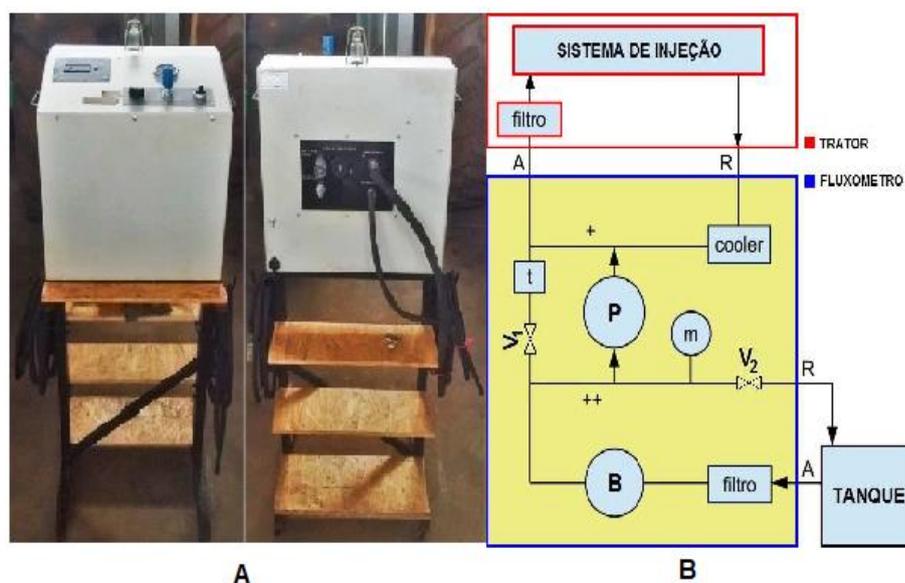


Figura 11 - Fluxômetro EGGERS modelo FM3-100 (A), Fluxograma do sistema de medição (B)
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.3 Medições complementares

A fim de verificar a pressão atmosférica e temperatura ambiente, foi utilizado um barômetro / termômetro / higrômetro GFTB100-GRS-000-GE produzido pela Greisinger electronic GmbH com faixa de medição para temperatura de $-25,0^{\circ}\text{C}$ a $+70,0^{\circ}\text{C}$ e pressão atmosférica de 10,0 a 1100,0 mbar com resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ para temperatura e 0,1mBar para a pressão atmosférica.

Para a velocidade angular do motor, foi utilizado um tacômetro do modelo 2790 fabricado pela PeakTech do software, com faixa de medição de 2 a 99999 rpm e resolução de 0,1 rpm para verificação e alimentação.

3.6 Análise Estatística

Para análise estatística, utilizou-se o software Sisvar versão 5.6, o experimento de desempenho do motor utilizará a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro.

O experimento foi montado com quatro fatores (porcentagem de diesel tipo A, porcentagem de biodiesel, porcentagem de etanol e x° para ponto de injeção), 100% para diesel tipo A, 03 níveis de 8, 15, 20% de biodiesel, 1% de etanol e 4 níveis de $-2^{\circ}, 0^{\circ}, 2^{\circ}, 4^{\circ}$ para ponto de injeção, totalizando 8 tratamentos de combustíveis com tratamentos de injeção, resultando em 32.

Foram determinados como as variáveis de resposta: Potência máxima (kW); Rotação na Potência máxima (rpm); Torque na potência máxima (N/m); Torque máximo (N/m); Potência no torque máximo (kW); Rotação no torque máximo (rpm); Consumo Específico de combustível ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$); Consumo horário de combustível [l h^{-1}]; Reserva de torque (%); Reserva de rotação (%); Índice de elasticidade do motor.

Desse modo, as variáveis foram analisadas no intervalo de 2200 até 1000 rpm, com medições a cada 100 rpm, totalizando 12 (doze) pontos de medida de rotações do motor.

O delineamento experimental aplicado foi o inteiramente Casualizado (Split-Plot) com 3 (três) repetições, criando um arranjo experimental 32x12x3, que totalizou 1152 pontos.

A decomposição do número de graus de liberdade de um ensaio em parcela subdividida em que elas são dispostas nos principais delineamentos está exemplificada na Tabela 04.

Tabela 4 - Esquema de análise de variância de um experimento no esquema de parcela subdividida com I tratamentos primários, K tratamentos secundários e J repetições, nos delineamentos inteiramente casualizado.

Fonte de Variação	G.L.	G.L.
Fator A	I-1	3,00
Resíduo(a)	I(J-1)	8,00
Fator B	K-1	7,00
AxB	(I-1) (K-1)	21,00
Resíduo(b)	I(J-1) (K-1)	56,00
Total	IJK-1	95,00
Fator A (4 pontos)	8	I
Fator B (8 misturas)	5	K
Repetições	3	J

Fonte: elaborado pelo pesquisador (2017)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método estatístico proposto, não foi integralmente aplicado para as análises, pois a maioria dos pontos verificados apresentaram interações triplas entre ponto de injeção, biodiesel e etanol, tornando-se complexo e até mesmo inconclusivo.

As análises de variância conforme o método proposto inicialmente nesta pesquisa segue em anexo nos apêndices deste trabalho. Logo, modificou-se as sub-parcelas, trabalhando-se com a análise separada do ponto de injeção interagindo com parcelas de biodiesel sem etanol, e posteriormente com parcelas de biodiesel com etanol.

Os resultados foram analisados, e foi possível evidenciar pontos nos quais se obteve significância na atuação de todos os fatores. As análises de variância que foram aplicadas para análises seguem anexo nos apêndices.

A Tabela 5 mostra os valores das variáveis ambientais monitoradas durante os ensaios, bem como, a amplitude dos resultados (valores máximos e mínimos) e as respectivas datas de realização.

Tabela 5 - Variação das condições do ambiente durante os ensaios

Data	Temperatura (°C)		Variação (°C)	Pressão Atmosférica (mbar)		Variação (mbar)
	Mínima	Máxima		Mínima	Máxima	
09/10/2017	19,7	20,6	0,9	928,6	929,3	0,7
10/10/2017	25,6	28,1	2,5	928,9	929,8	0,9
12/10/2017	27,3	29,8	2,6	928,5	929,5	1,0
13/10/2017	26,7	29,1	2,4	928,0	928,9	0,9

Os resultados foram discutidos com o intuito de obter-se o melhor desempenho do trator, analisando e tomando como base de referência, os pontos de interesse mencionados por MIALHE 1996.

Esses pontos foram discutidos conforme sequência apresentada por MIALHE 1996, do ponto 1 ao ponto 5.

4.1 Ponto de potência efetiva máxima (ponto 1).

Representa o valor máximo atingido pelo produto torque x velocidade angular, no qual, a análise de variância para os valores de potência máxima apresentou significância para a interação do ponto de injeção, para as misturas de biodiesel sem etanol, e interação entre ponto de injeção e biodiesel, para misturas contendo a porcentagem de etanol.

A análise independente dos fatores, apresentou significância apenas para o fator ponto de injeção, mostrou diferença significativa ($p < 0,05$) no momento em que o ponto foi atrasado, isto para todos os tratamentos de combustíveis, conforme é possível verificar na Tabela 6 e 7, sendo o ponto de injeção P-2 11,5% inferior ao ponto de injeção P0, e para tratamentos sem etanol 12,3% inferior também seguindo a mesma comparação.

Tabela 6 - Potência máxima (cv) dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.

Ponto de injeção (°)	Potência Máxima (cv)
P-2	49,5B
P4	54,9A
P0	55,2A
P2	55,3A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 7 - Potência máxima (cv) dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e etanol.

Ponto de injeção (°)	Potência Máxima (cv)
P-2	49,3B
P4	54,7A
P2	55,3A
P0	55,4A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A análise apontou significância para o fator ponto de injeção com biodiesel, e mostrou diferença significativa ($p < 0,05$), apenas para os tratamentos de combustíveis com etanol, indicado na Tabela 8.

Tabela 8 - Desdobramento dos valores de Potência máxima (cv) dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e etanol.

(°) Ponto de Injeção	% Biodiesel			
	B0E1	B8E1	B15E1	B20E1
P-2	49,3Ba	49,6Ba	49,3Ba	49,0Ba
P4	54,6Aa	55,0Aa	55,3Aa	54,0Aa
P2	55,6Aa	55,3Aa	55,6Aa	54,6Aa
P0	56,6Aa	54,0Ab	55,0Aab	56,0Aab

*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na COLUNA e médias seguidas de letras minúsculas iguais na LINHA, indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A partir dos dados descritos nas tabelas acima, evidencia-se a redução do valor de potência máxima conforme o ponto de injeção é atrasado (P-2) em todos os tratamentos de biodiesel com etanol, já o biodiesel apresentou significância apenas em B8E1 quando se estava operando com o ponto de injeção P0.

4.2 Ponto de torque máximo (ponto 2).

Expressa a condição operacional, na qual ocorre o maior valor para a pressão média efetiva nos cilindros do motor, a análise de variância para os valores de torque máximo, apresentou significância para a interação entre ponto de injeção e porcentagem de biodiesel com e sem etanol, sinalizado nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Desdobramento dos valores de torque máximo (N/m), dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel sem etanol.

(°) Ponto de Injeção	% Biodiesel			
	B0E0	B8E0	B15E0	B20E0
P4	191,0Ca	186,3Db	184,0Db	188,6Dab
P-2	194,3Ca	194,3Ca	195,0Ca	195,3Ca
P2	202,6Ba	200,3Ba	202,6Ba	202,0Ba
P0	208,6Aa	208,6Aa	206,6Aa	208,3Aa

*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na COLUNA e médias seguidas de letras minúsculas iguais na LINHA, indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 10 - Desdobramento dos valores de torque máximo (N/m), dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e etanol.

(°) Ponto de Injeção	% Biodiesel			
	B0E1	B8E1	B15E1	B20E1
P4	187,6Da	185,6Ca	188,3Ca	185,3Da
P-2	195,3Ca	196,0Ba	195,3Ba	194,0Ca
P2	202,0Ba	199,3Bab	197,6Bb	199,3Bab
P0	210,0Aa	207,3Aa	207,3Aa	210,0Aa

*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na COLUNA e médias seguidas de letras minúsculas iguais na LINHA, indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Baseado nos dados das Tabelas 9 e 10, evidencia-se a redução do valor de torque máximo a medida em que o ponto de injeção é modificado em relação ao referencial P0, valores de redução de torque conforme o ponto de injeção foi avançado, foram relatados por BRAMBILA (2006), chegando a 26,5% de redução.

Para o ponto de injeção P4 na Tabela 9 e P2 na Tabela 10 apenas, demonstra uma diminuição de torque conforme é adicionado o biodiesel, como observaram HOW (2014) e TZIOURTZIOUMIS (2012) em seus estudos.

4.3 Ponto de torque de potência efetiva máxima (ponto 3)

A análise de variância para o valor de torque na potência máxima (N/m) apresentou significância para o ponto de injeção, como demonstrado nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 11 - Torque na potência máxima (N/m) dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.

Ponto de injeção (°)	Torque na Potência Máxima (N/m)
P-2	148,6C
P4	160,6B
P2	164,1AB
P0	165,4A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 12 - Torque na potência máxima (N/m) dentro de cada nível de (°) ponto de injeção, com biodiesel e etanol.

Ponto de injeção (°)	Torque na Potência Máxima (N/m)
P-2	145,3B
P4	160,3A
P2	161,6A
P0	164,5A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Evidencia-se a redução do torque na potência máxima na TDP quando o ponto de injeção é atrasado (P-2), comparado com P0, para misturas sem o uso de etanol a

redução chegou a 11,3%, já nas misturas que possuem o percentual de etanol a redução foi de 13,2%.

4.4 Ponto de consumo específico mínimo (ponto 4)

É o ponto em que ocorre o máximo valor, portanto, são condições operacionais consideradas ideais em termos de rotação e torque para o motor. A análise de variância para os valores de consumo específico indicou significância para a interação entre os fatores ponto de injeção com biodiesel nos tratamentos sem etanol e ponto de injeção nos tratamentos de biodiesel com percentual de etanol.

A combinação de B15E0 em P2 apresentou o menor consumo específico mínimo, dentre os tratamentos expostos na Tabela 13, sendo oposto proposto por (MOREIRA, 2008; KEGL, 2008), de aumento de consumo quando utilizado biodiesel, o melhor consumo específico mínimo encontrado foi de 17,0% abaixo do que B0E0 em P0, em B15E0 em P2, apresentando uma melhoria ao consumo, conforme Tabela 13.

Tabela 13 - Desdobramento dos valores de consumo específico mínimo ($\text{g kw}^{-1} \text{h}^{-1}$) entre ponto de injeção com cada percentual de Biodiesel sem etanol.

(°) Ponto de Injeção	% Biodiesel			
	B0E0	B8E0	B15E0	B20E0
P4	231,0Aa	237,2Aa	238,0Aa	230,5Aa
P0	231,5Aa	233,6Aa	241,6Aa	238,9Aa
P2	232,3Aa	197,7Bab	192,1Bb	207,3Aab
P-2	237,5Aa	207,2ABa	228,1Aa	235,0Aa

*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na COLUNA e médias seguidas de letras minúsculas iguais na LINHA, indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 14 - Consumo específico mínimo ($\text{g kw}^{-1} \text{h}^{-1}$) do ponto de injeção com cada percentual de Biodiesel com etanol.

Ponto de injeção (°)	Consumo específico Min. ($\text{g kw}^{-1} \text{h}^{-1}$)
P4	216,7B
P2	226,7AB
P0	229,4A
P-2	235,3A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na análise dos fatores com etanol o ponto de injeção P4 indicou melhor valor de consumo específico mínimo, com 5,8% mais econômico, conforme Tabela 14, porém P4 apresenta os valores mais baixos de torque fornecido, quando comparado com P0, chegando a 13,3% a menos.

4.5 Ponto de consumo horário ótimo (ponto 5)

Corresponde a condição operacional em que ocorre o ponto de consumo específico mínimo, no qual a análise de variância para os valores de consumo horário ótimo evidenciou significância para a interação apenas do fator ponto de injeção com percentual de biodiesel sem etanol, visualizado na Tabela 15.

Tabela 15 - Consumo horário ótimo (l/h) em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.

Ponto de injeção	Consumo horário (l/h)
P-2	10,8A
P2	11,1AB
P0	11,9B
P4	13,0C

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O melhor consumo foi obtido em P-2, com 10,1% abaixo do referência P0, já em P4 o processo foi oposto, com 8,4% acima que P0, porém é importante evidenciar que o ponto de injeção P-2 teve 10,3% no ponto 1 e 11,3% no ponto 2 a menos, quando comparado com ponto 1 e 2 do ponto de injeção P0.

4.6 Índices e parâmetros de avaliação do desempenho

4.6.1 Índice de elasticidade

A análise de variância para o valor de índice de elasticidade (IE) apresentou significância para a interação do fator ponto de injeção. Mostrou diferença significativa ($p < 0,05$) no momento em que o ponto foi atrasado (P-2), isto para todos os tratamentos de combustíveis, representado nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 - Índice de elasticidade em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.

Ponto de injeção	Índice de Elasticidade
P4	2,1B
P0	2,2B
P2	2,2B
P-2	2,8A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 17 - Índice de elasticidade em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e etanol.

Ponto de injeção	Índice de Elasticidade
P4	2,1B
P 0	2,2B
P 2	2,2B
P-2	2,8A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Quanto maior for o (IE), melhor será o motor, que se mostra adaptável às condições de uso, P-2 apresentou 21,4% acima que P0, todavia nesta condição, deve-se ressaltar que os valores de ponto1 e ponto 2 apresentaram redução, quando foi utilizado o P-2, sendo 10,3% e 11,3% abaixo no ponto 1 e ponto 2 quando comprado ao ponto de injeção P0.

4.6.2 Reserva de torque

A análise de variância para o valor de reserva de torque (RT) evidenciou significância para a interação do fator ponto de injeção, mostrando diferença significativa ($p < 0,05$), em todos os tratamentos de combustíveis, descritos nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 - Reserva de torque em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.

Ponto de injeção	Reserva de Torque (%)
P4	17,1C
P2	23,0B
P0	25,8B
P-2	31,0A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 19 - Reserva de torque em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e etanol.

Ponto de injeção	Reserva de Torque (%)
P4	16,5C
P2	23,5B
P0	26,9B
P-2	34,3A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Quanto maior for a (RT), melhor pode-se considerar o motor, assim como o (IE). Neste contexto destaca-se da mesma maneira a abordagem, P-2 apresentou 21,5% acima que P0 (Tabela 19), no entanto nessa condição, deve-se salientar que os valores de ponto1 e ponto 2 apresentaram redução quando foi utilizado o P-2.

4.6.3 Reserva de rotação

A análise de variância para o valor de reserva de rotação (RR) apresentou significância para a interação do fator ponto de injeção, mostrando diferença significativa ($p < 0,05$), em todos os tratamentos de combustíveis, conforme dados das Tabelas 20 e 21.

Tabela 20 - Reserva de rotação em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e sem etanol.

Ponto de Injeção	Reserva de Rotação (%)
P0	76,8B
P4	80,8B
P2	81,8B
P-2	114,7A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 21 - Reserva de rotação em cada nível do ponto de injeção, com biodiesel e etanol.

Ponto de Injeção	Reserva de Rotação (%)
P0	79,2B
P2	84,2B
P4	88,3AB
P-2	114,7A

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Nas Tabelas 21 e 22 observou-se um valor superior a 100% para P-2. Como esse valor é extraído com base em uma equação matemática, descrita no item 2.4.2, quando a diferença em “rpm” da rpm_{pmax} e rpm_{tmax} , for maior que o valor de rpm_{tmax} , a RR ultrapassará o valor de 100% de reserva.

5. CONCLUSÕES

Para potência máxima, o ponto de injeção atrasado (P-2), indicou influência significativa em todos os combustíveis ensaiados. Os demais tratamentos de combustível mantiveram uma estabilidade.

Para o torque máximo, o ponto de injeção adiantado (P4), apresentou os menores valores em todos os tratamentos de combustível, sendo inferior até mesmo para o ponto de injeção atrasado (P-2),

Em relação ao consumo específico, o melhor valor foi verificado em B15E0 operando com ponto de injeção P2, com 17% de redução em relação a B0E0 com ponto de injeção P0, combinando pontos de injeção adiantado e acréscimo do percentual de biodiesel, obteve-se melhores resultados, isso acontece também quando o etanol é acrescentado nas misturas.

Para o consumo horário, percebeu-se apenas a interação do ponto de injeção quando operado com biodiesel sem etanol, apontando melhor consumo para quando ponto é atrasado (P-2).

Os índices de desempenho apresentaram melhor valor para P-2 devido à rpm_{tmax} ser abaixo em relação a todos os outros pontos, com isso proporcionou um maior intervalo entre os pontos de rpm_{pmax} e rpm_{tmax} , estes sendo os limites para determinação dos índices, consecutivamente ampliando os valores de IE, RT e RR.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Replicar a mesma pesquisa, com foco em análise de gases, e com monitoramento do valor e momento da pressão máxima interna dos cilindros.
- Aplicar a mesma pesquisa, porém em um motor mecânico turbo alimentado, em paralelo com análise de gases, e com monitoramento do valor e momento da pressão máxima interna dos cilindros.
- Estudar a viabilidade de mudança das dimensões da câmara de combustão.
- Aplicar maiores níveis de biodiesel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Giovanni Souza de. Avaliação experimental da duração de combustão para diferentes combustíveis, em um motor padrão Ciclo Otto ASTM-CFR. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 789-1: Tratores agrícolas – Procedimentos de ensaios Parte 1: Ensaio de potência para a tomada de potência. Rio de Janeiro, 2014.

BEN: **Balço Energético Nacional**. Ministério das Minas e Energia, 2015.

BERMANN, Célio. Crise ambiental e as energias renováveis. **Ciência e Cultura**, v. 60, n. 3, p. 20-29, 2008.

BEZERRA, Filomena Nádia Rodrigues. **Sustentabilidade da matriz energética Brasileira**. 2016.

Bosch, Robert. *Manual de tecnologia automotiva*. Edgard Blucher, 2005.

BUENO, Juan Pablo Vargas Machuca. ESTUDO NUMÉRICO DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DE INJEÇÃO DE MISTURAS ÓLEO DIESEL-BIODIESEL-ETANOL NAS EMISSÕES DE NOx. 2016. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

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 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, Seção 1, 13 de janeiro de 2005.

BRAMBILA, Jean Amadeo. **Estudo experimental e simulação termodinâmica de desempenho em um motor de combustão interna operando com óleo diesel e etanol**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CARRIJO, Rodolfo dos Santos et al. Uso de microalgas para a produção de biodiesel: vantagens e limitações. *Revista Eletrônica de Energia*, v. 5, n. 1, 2015.

CHURCHILL, GV; SRINIVASAN, C. Ananda. Investigações experimentais sobre características de combustão e emissão de misturas de biodiesel no motor de CI. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v. 4, n. 1, p. 1523-29, 2017.

COLDEBELLA, A.; SOUZA, S. N. M.; FERRI, P.; KOLLING, E. M. Viabilidade da Geração de Energia Elétrica Através de Um Motor Gerador Utilizando Biogás da Suinocultura, **Informe Gepec** – v. 12, n. 2, jul./dez. 2008.

COSTA, Joel de Oliveira. **Análise dos gases da exaustão em um motor diesel com injeção Common Rail alimentado com diesel, biodiesel e suas misturas**. 2017. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

DA CUNHA KEMERICH, Pedro Daniel et al. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 20, n. 1, p. 241-247, 2016.

DE PAULA PEREIRA, Marlene; FERREIRA, Sebastião Cezar. Produção de biodiesel: desafios e limitações no campo jurídico. **Revista de Extensão e Estudos Rurais**, v. 1, n. 1, 2014.

DE AGUIAR, Márcio Alves. ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM MOTOR AGRÍCOLA COM USO DE DIESEL E BIODIESEL DE SOJA (GLYCINE MAX) DA REGIÃO DO MATOPIBA, TOCANTINS, BRASIL. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 4, 2016.

DOS REIS, Elton F. et al. \Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 5, 2013.

Elkelawy, M. (2014) Investigação Experimental de Injeção Combustível e Emissões de Combustível de Combustão de Combustível de Aerossóis Diesel (HCCI). *Engenharia de Energia e Energia*, **6**, 513-526. doi: [10.4236 / epe.2014.614045](https://doi.org/10.4236/epe.2014.614045) .

EIT. ENGINEERING INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF AUSTRALIA . **A Few (Brief) Examples Of Virtual Labs**. Disponível em:< <http://www.eit.edu.au/virtuallaboratories>>. Acesso em: 09/06/2017.

EGGERS DYNAMOMETER. Test Stands / Consumption Meters/ Diagnostic systems: Product overview. Germany.

FIGLIARESE, D. A.; DALLMEYER, A. U.; ROMANO, L. N.; SCHLOSSER, J. F.; MACHADO, P. R. M. Desempenho de um motor de trator agrícola em bancada dinâmométrica com biodiesel de óleo de frango e misturas binárias com óleo diesel. *Ciência Rural*, Vol.42, n.4, p.660-6, Santa Maria, Brasil, 2012.

GABRIEL FILHO, Antonio; SILVA, Suedêmio de L.; MODOLO, Alcir J. and. SILVEIRA, João C. M. da. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. *Engenharia Agrícola*, vol.24, n.3, pp.781-789, 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162004000300032&script=sci_abstract&lng=pt> Acesso em: 19 junho. 2016. doi: 10.1590/S0100-69162004000300032.

GALLO, Omar D. et al. Freno de corrientes parásitas para ensayo de motores eléctricos. **Ciência, docencia y tecnología**, n. 54, p. 283-296, 2017.

GARCIA, O.; BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. 2. ed. São Paulo: FEI (apostila), 1992.

GUEDES, Andrew David Mendes. **Estudo Experimental sobre o Impacto do Etanol em Misturas Diesel-Biodiesel-Etanol nos Motores de Ignição por Compressão**. 2017. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

GUPTA, Jai Gopal; AGARWAL, Avinash Kumar. **Emissões não reguladas e reguladas do motor CRDI alimentado a biodiesel**. Documento Técnico SAE, 2015.

GREISINGER ELETRONIC GMBH. GFTB100-GRS-000-GE: **Bedienungsanleitung**. Germany Greisinger.

HAICAL, Rafael da Cruz. Desenvolvimento de um sistema de controle de dinamômetro para testes de motores de combustão interna. 2009.

Heywood, J. *Internal Combustion Engines Fundamentals*. McGraw-Hill Inc., 1988.

HOW, H.G., MASJUKI, H.H., KALAM, M.A.; TEOH, Y.H. An investigation of the engine performance, emissions and combustion characteristics of coconut Biodiesel in a high-pressure common-rail diesel engine. *Energy*. Vol. 69, p.749–759, 2014.

IACONO, Giuseppe Eugênio Peruzo. Desempenho do motor de um trator agrícola utilizando misturas diesel- biodiesel-etanol. Cascavel – PR: UNIOESTE, 2017.

KALE, Pradeep T. Uma Visão Geral do Atraso de Ignição e Combustão de Biodiesel Alimentado no Motor CI. Em: **Conferência Internacional sobre Emissões em Tecnologia e Engenharia Modernas (ICEMTE-2017)**. p. 121-126.

KEGL, Breda; KEGL, Marko; PEHAN, Stanislav. Otimização de um sistema de injeção de combustível para o uso de diesel e biodiesel. **Energy & Fuels**, v. 22, n. 2, p. 1046-1054, 2008.

LIMA, Raquel Araújo. A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima. *Revista Direito E-nergia*, v. 5, 2014.

LY, Moussa et al. Influência da espessura do filme antirreflexo de TiO₂ nos parâmetros elétricos de células solares com base n. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 3, n. 1, p. 31, 2012.

MACHADO, Paulo Romeu Moreira. **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção**. 2008. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 142p.

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**, 3ª Ed. Porto: Publindústria, Edições Técnicas, 2013.

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura V1-2**. EPU, São Paulo, 1980.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 1996.

MACHADO, Paulo Romeu Moreira et al. **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

MOREIRA, S. M. dos S. R. Influência do Biodiesel nas emissões poluentes de um motor turbo diesel. 2008. 93p. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto – Portugal, 2008.

MORETTI, Ricardo Rochetto et al. Mistura diesel, biodiesel e etanol anidro: uma possibilidade para reduzir o custo de produção da cadeia da cana-de-açúcar. 2013.

ÖZTÜRK, Erkan. Desempenho, emissões, combustão e características de injeção de um motor diesel alimentado com mistura de biodiesel de canola e avelã. **Tecnologia de processamento de combustível**, v. 129, p. 183-191, 2015.

Petrobras Distribuidora S.A. Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ, Etanol Anidro Combustível EAC, Versão 6, 2015.

Petrobras Distribuidora S.A. Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ, Etanol Hidratado Combustível EHC, Versão 6, 2015.

PODORODECZKI, Paulo Ricardo et al. Análise de desempenho de motor diesel com injeção eletrônica Common Rail alimentado com misturas diesel-biodiesel em dinamômetro de chassis. 2016.

RODRIGUES, Onelina Cecilia Santos; DE ABREU, Yolanda Vieira. CARACTERÍSTICAS DA POSSE E USO DE TERRAS RELACIONADAS ÀS CULTURAS AGRÍCOLAS DESTINADAS A PRODUÇÃO DE AGROENERGIA NO BRASIL (Biodiesel e Etanol). **DESAFIOS**, v. 3, p. 12-21, 2017.

ROSA, Josimar Souza. Estudo de um motor ciclo diesel monocilíndrico bicomcombustível. 2014.

Rossetto, C., SN Melegari De Souza, and O. L. Klaus. "DESEMPENHO DE MOTOR-GERADOR DE CICLO OTTO OPERADO COM GASOLINA E BIOGÁS PROVENIENTE DE SUINOCULTURA/PERFORMANCE MOTOR-GENERATOR OPERATED WITH OTTO CYCLE GASOLINE AND BIOGAS FROM THE PIG." *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas/Brazilian Journal of Biosystems Engineering* 8.1 (2014): 34-42.

ROSO, Vinícius Rückert et al. Consumo de combustível e emissões de poluentes em um motor Diesel convertido a etanol para geração térmica de energia elétrica. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 37, n. 1, p. 131-142, 2016.

SCARPIN, Lucas Mendes. Montagem de uma bancada dinamométrica e avaliação preliminar do desempenho de um motor operando com misturas diesel-biodiesel, 2014.

SILVEIRA, G.M.; SIERRA, J.G. Eficiência energética de tratores agrícolas fabricados no Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.4, p.418-424, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n4/v14n04a11.pdf>>. Acesso em: 23 junho. 2017. doi: 10.1590/S1415-43662010000400011

SHAHABUDDIN, M. et al. Ignition delay, combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 623-632, 2013.

TZIOURTZIOUMIS, DIMITRIS; STAMATELOS, An. Effects of a 70% Biodiesel blend on the fuel injection system operation during steady-state and transient performance of a common rail diesel engine. Energy Conversion and Management. Vol.60, p.56 - 67.2012.

VARELLA, C. A. A.; SANTOS, G. S. Noções Básicas de Motores Diesel. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Seropédica, 2010.

APÊNDICES

APENDICE A – Resultado das análises de variância, do método proposto, porém não aplicado.

Variável analisada: Ponto de potência efetiva máxima (ponto 1)

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	590.531250	196.843750	309.787	0.0000
Erro 1	8	5.083333	0.635417		
BIODIESEL	3	0.614583	0.204861	0.379	0.7682
ETANOL	1	0.093750	0.093750	0.174	0.6786
BIODIESEL*ETANOL	3	5.531250	1.843750	3.413	0.0235
PONTO*BIODIESEL	9	12.510417	1.390046	2.573	0.0149
PONTO*ETANOL	3	0.614583	0.204861	0.379	0.7682
PONTO*BIODIESEL*ETANOL	9	11.260417	1.251157	2.316	0.0271
Erro 2	56	30.250000	0.540179		

 Total corrigido 95 656.489583

CV 1 (%) = 1.48

CV 2 (%) = 1.37

CV 3 (%) = 0.00

Média geral: 53.7395833 Número de observações: 96

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 1,60075015834993 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,428984589207792

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 1,60075015834993 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,428984589207792

 Teste Tukey para a FV ETANOL

DMS: 1,21197428438026 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,428984589207792

Variável analisada: Ponto de torque máximo (ponto 2)

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	5631.875000	1877.291667	854.123	0.0000
Erro 1	8	17.583333	2.197917		
BIODIESEL	3	40.875000	13.625000	8.898	0.0001
ETANOL	1	12.041667	12.041667	7.864	0.0069
BIODIESEL*ETANOL	3	4.375000	1.458333	0.952	0.4216
PONTO*BIODIESEL	9	39.208333	4.356481	2.845	0.0079
PONTO*ETANOL	3	37.208333	12.402778	8.100	0.0001
PONTO*BIODIESEL*ETANOL	9	52.041667	5.782407	3.776	0.0009

```

Erro 2                56                85.750000                1.531250
-----
Total corrigido      95                5920.958333
-----
CV 1 (%) =           0.75
CV 2 (%) =           0.63
CV 3 (%) =           0.00
Média geral:        197.8958333        Número de observações:        96
-----
      Teste Tukey para a FV PONTO
-----
DMS: 2,73864328674898  NMS: 0,05
-----
Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0,733617369235794
-----
      Teste Tukey para a FV BIODIESEL
-----
DMS: 2,73864328674898  NMS: 0,05
-----
Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0,733617369235794
-----
      Teste Tukey para a FV ETANOL
-----
DMS: 2,07326159308992  NMS: 0,05
-----
Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0,733617369235794
-----

```

Variável analisada: Ponto de torque de potência efetiva máxima (ponto 3)

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

```

-----
FV                GL                SQ                QM                Fc  Pr>Fc
-----
PONTO             3                4727.864583        1575.954861        121.617 0.0000
Erro 1            8                103.666667         12.958333
BIODIESEL        3                10.114583          3.371528           0.294 0.8300
ETANOL           1                75.260417          75.260417          6.555 0.0132
BIODIESEL*ETANOL 3                40.197917          13.399306          1.167 0.3305
PONTO*BIODIESEL  9                124.843750         13.871528          1.208 0.3086
PONTO*ETANOL     3                34.614583          11.538194          1.005 0.3975
PONTO*BIODIESEL*ETANOL 9        201.093750         22.343750          1.946 0.0637
Erro 2            56                643.000000         11.482143
-----
Total corrigido  95                5960.656250
-----
CV 1 (%) =        2.27
CV 2 (%) =        2.13
CV 3 (%) =        0.00
Média geral:      158.8437500        Número de observações:        96
-----
      Teste Tukey para a FV PONTO
-----
DMS: 3,33000135843325  NMS: 0,05
-----
Média harmonica do número de repetições (r): 24
Erro padrão: 0,734799670356183
-----
      Teste Tukey para a FV ETANOL
-----
DMS: 1,38560356290579  NMS: 0,05
-----
Média harmonica do número de repetições (r): 48
Erro padrão: 0,48909233230936
-----

```

Variável analisada: Ponto de consumo específico mínimo (ponto 4)

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	3669.965312	1223.321771	11.385	0.0029
Erro 1	8	859.613333	107.451667		
BIODIESEL	3	688.861146	229.620382	2.425	0.0751
ETANOL	1	16.417604	16.417604	0.173	0.6787
BIODIESEL*ETANOL	3	621.114479	207.038160	2.187	0.0997
PONTO*BIODIESEL	9	2348.500937	260.944549	2.756	0.0097
PONTO*ETANOL	3	4781.318646	1593.772882	16.835	0.0000
PONTO*BIODIESEL*ETANOL	9	1600.597604	177.844178	1.879	0.0742
Erro 2	56	5301.513333	94.669881		
Total corrigido	95	19887.902396			
CV 1 (%) =	4.57				
CV 2 (%) =	4.29				
CV 3 (%) =	0.00				
Média geral:	226.6697917	Número de observações:		96	

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 10,5689372958741 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 2,83236656300385

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 14,9467344636959 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 6

Erro padrão: 4,00557120701211

 Teste Tukey para a FV ETANOL

DMS: 8,00204838275998 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 2,83236656300385

Variável analisada: Ponto de consumo horário ótimo (ponto 5)

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	28.442812	9.480937	12.485	0.0022
Erro 1	8	6.075000	0.759375		
BIODIESEL	3	0.700312	0.233437	0.196	0.8991
ETANOL	1	0.683437	0.683437	0.573	0.4523
BIODIESEL*ETANOL	3	1.307813	0.435938	0.365	0.7782
PONTO*BIODIESEL	9	30.720937	3.413437	2.860	0.0076
PONTO*ETANOL	3	14.875313	4.958438	4.155	0.0100
PONTO*BIODIESEL*ETANOL	9	7.298437	0.810937	0.680	0.7239
Erro 2	56	66.825000	1.193304		
Total corrigido	95	156.929062			
CV 1 (%) =	7.38				
CV 2 (%) =	9.26				
CV 3 (%) =	0.00				
Média geral:	11.8031250	Número de observações:		96	

 Teste Tukey para a FV PONTO
 -----DMS: 1,15013552296986 NMS: 0,05
 -----Média harmonica do número de repetições (r): 12
 Erro padrão: 0,308093938596656
 -----Teste Tukey para a FV BIODIESEL
 -----DMS: 1,62653725515105 NMS: 0,05
 -----Média harmonica do número de repetições (r): 6
 Erro padrão: 0,435710626448334
 -----Teste Tukey para a FV ETANOL
 -----DMS: 0,870698209642505 NMS: 0,05
 -----Média harmonica do número de repetições (r): 12
 Erro padrão: 0,308093938596656

Variável analisada: Indicie de elasticidade
 -----Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)
 -----TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	7.315513	2.438504	29.187	0.0001
Erro 1	8	0.668375	0.083547		
BIODIESEL	3	0.068721	0.022907	0.518	0.6716
ETANOL	1	0.081667	0.081667	1.847	0.1796
BIODIESEL*ETANOL	3	0.117358	0.039119	0.885	0.4548
PONTO*BIODIESEL	9	0.263129	0.029237	0.661	0.7400
PONTO*ETANOL	3	0.005700	0.001900	0.043	0.9885
PONTO*BIODIESEL*ETANOL	9	0.351608	0.039068	0.883	0.5456
Erro 2	56	2.476692	0.044227		

Total corrigido 95 11.348763

CV 1 (%) = 12.15

CV 2 (%) = 8.84

CV 3 (%) = 0.00

Média geral: 2.3793750 Número de observações: 96
 -----Teste Tukey para a FV PONTO
 -----DMS: 0,267383708250795 NMS: 0,05
 -----Média harmonica do número de repetições (r): 24
 Erro padrão: 0,0590010151748821

Variável analisada: Reserva de Torque

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	3129.672808	1043.224269	100.042	0.0000
Erro 1	8	83.423275	10.427909		
BIODIESEL	3	8.514733	2.838244	0.373	0.7730
ETANOL	1	26.691504	26.691504	3.504	0.0665
BIODIESEL*ETANOL	3	26.322346	8.774115	1.152	0.3363
PONTO*BIODIESEL	9	48.320342	5.368927	0.705	0.7019
PONTO*ETANOL	3	49.454388	16.484796	2.164	0.1024
PONTO*BIODIESEL*ETANOL	9	137.201529	15.244614	2.001	0.0562
Erro 2	56	426.609058	7.618019		
Total corrigido	95	3936.209983			
CV 1 (%) =	13.02				
CV 2 (%) =	11.13				
CV 3 (%) =	0.00				
Média geral:	24.8079167	Número de observações:		96	

 Teste Tukey para a FV PONTO

 DMS: 2,98722861737453 NMS: 0,05

 Média harmonica do número de repetições (r): 24
 Erro padrão: 0,659163275644459

Variável analisada: Reserva de rotação

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	19977.485603	6659.161868	16.622	0.0008
Erro 1	8	3204.994350	400.624294		
BIODIESEL	3	400.311345	133.437115	0.529	0.6641
ETANOL	1	225.430751	225.430751	0.894	0.3485
BIODIESEL*ETANOL	3	673.671386	224.557129	0.890	0.4518
PONTO*BIODIESEL	9	1861.132476	206.792497	0.820	0.6002
PONTO*ETANOL	3	176.188211	58.729404	0.233	0.8732
PONTO*BIODIESEL*ETANOL	9	1046.607434	116.289715	0.461	0.8943
Erro 2	56	14121.698183	252.173182		
Total corrigido	95	41687.519741			
CV 1 (%) =	22.21				
CV 2 (%) =	17.62				
CV 3 (%) =	0.00				
Média geral:	90.1071875	Número de observações:		96	

 Teste Tukey para a FV PONTO

 DMS: 18,515629317963 NMS: 0,05

 Média harmonica do número de repetições (r): 24
 Erro padrão: 4,08566749824921

APENDICE B – Resultado das análises de variância sem uso de etanol, do método aplicado.

Variável analisada: POTENCIA MAXIMA

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	281.729167	93.909722	500.852	0.0000
Erro 1	8	1.500000	0.187500		
BIODIESEL	3	2.729167	0.909722	1.955	0.1477
PONTO*BIODIESEL	9	9.354167	1.039352	2.234	0.0562
Erro 2	24	11.166667	0.465278		
Total corrigido	47	306.479167			
CV 1 (%) =	0.81				
CV 2 (%) =	1.27				
Média geral:	53.7708333	Número de observações:	48		

 Teste Tukey para a FV PONTO

 DMS: 0,566481160235667 NMS: 0,05

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

 DMS: 0,768440214721145 NMS: 0,05

Variável analisada: TORQUE NA POTENCIA MAXIMA

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	2103.562500	701.187500	90.965	0.0000
Erro 1	8	61.666667	7.708333		
BIODIESEL	3	15.895833	5.298611	0.635	0.5998
PONTO*BIODIESEL	9	132.020833	14.668981	1.757	0.1301
Erro 2	24	200.333333	8.347222		
Total corrigido	47	2513.479167			
CV 1 (%) =	1.74				
CV 2 (%) =	1.81				
Média geral:	159.7291667	Número de observações:	48		

 Teste Tukey para a FV PONTO

 DMS: 3,63216089361141 NMS: 0,05

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

 DMS: 3,25480457044067 NMS: 0,05

Variável analisada: TORQUE MAXIMO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	2668.666667	889.555556	533.733	0.0000
Erro 1	8	13.333333	1.666667		
BIODIESEL	3	21.833333	7.277778	4.764	0.0096
PONTO*BIODIESEL	9	38.500000	4.277778	2.800	0.0212
Erro 2	24	36.666667	1.527778		

 Total corrigido 47 2779.000000

CV 1 (%) = 0.65

CV 2 (%) = 0.62

Média geral: 198.2500000 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

 DMS: 1,68892050967987 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,372677996249965

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

 DMS: 1,3924641531448 NMS: 0,05

Variável analisada: CONSUMO ESPECIFICO MINIMO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	6282.585625	2094.195208	25.219	0.0002
Erro 1	8	664.315000	83.039375		
BIODIESEL	3	1263.523958	421.174653	2.519	0.0820
PONTO*BIODIESEL	9	3632.781875	403.642431	2.414	0.0410
Erro 2	24	4012.431667	167.184653		

 Total corrigido 47 15855.638125

CV 1 (%) = 4.03

CV 2 (%) = 5.71

Média geral: 226.2562500 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

 DMS: 11,921389310533 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 2,63057938801829

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

 DMS: 14,5663966946097 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 3,73256673056868

Variável analisada: CONSUMO HORARIO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	36.500625	12.166875	25.750	0.0002
Erro 1	8	3.780000	0.472500		
BIODIESEL	3	1.265625	0.421875	0.226	0.8775
PONTO*BIODIESEL	9	26.206875	2.911875	1.559	0.1843
Erro 2	24	44.820000	1.867500		

 Total corrigido 47 112.573125

CV 1 (%) = 5.87

CV 2 (%) = 11.66

Média geral: 11.7187500 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 0,899260963432144 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,198431348329844

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 1,5395160985207 NMS: 0,05

Variável analisada: INDICE DE ELASTICIDADE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	3.570756	1.190252	33.333	0.0001
Erro 1	8	0.285667	0.035708		
BIODIESEL	3	0.134223	0.044741	0.889	0.4610
PONTO*BIODIESEL	9	0.375652	0.041739	0.829	0.5963
Erro 2	24	1.208000	0.050333		

 Total corrigido 47 5.574298

CV 1 (%) = 8.04

CV 2 (%) = 9.55

Média geral: 2.3502083 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 0,247212043711003 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,0545499261635105

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 0,252744536099251 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,0647645307590848

Variável analisada: RESERVA DE TORQUE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	1203.564073	401.188024	72.024	0.0000
Erro 1	8	44.561733	5.570217		
BIODIESEL	3	27.571690	9.190563	1.530	0.2323
PONTO*BIODIESEL	9	88.616652	9.846295	1.639	0.1602
Erro 2	24	144.161333	6.006722		

 Total corrigido 47 1508.475481

CV 1 (%) = 9.72

CV 2 (%) = 10.09

Média geral: 24.2806250 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 3,08759891076825 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,681311031924643

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 2,76104003361202 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,707502781044135

Variável analisada: RESERVA DE ROTAÇÃO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	11093.201723	3697.733908	19.928	0.0004
Erro 1	8	1484.460000	185.557500		
BIODIESEL	3	834.482790	278.160930	0.941	0.4362
PONTO*BIODIESEL	9	1761.771419	195.752380	0.662	0.7338
Erro 2	24	7091.813867	295.492244		

 Total corrigido 47 22265.729798

CV 1 (%) = 15.38

CV 2 (%) = 19.41

Média geral: 88.5747917 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 17,8206725890793 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 3,9323180186755

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 19,3654223322503 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 4,96229319001847

APENDICE C – Resultado das análises de variância com uso de etanol, do método aplicado.

Variável analisada: POTENCIA MAXIMA

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	309.416667	103.138889	91.679	0.0000
Erro 1	8	9.000000	1.125000		
BIODIESEL	3	3.416667	1.138889	2.000	0.1409
PONTO*BIODIESEL	9	14.416667	1.601852	2.813	0.0208
Erro 2	24	13.666667	0.569444		
Total corrigido	47	349.916667			
CV 1 (%) =	1.97				
CV 2 (%) =	1.41				
Média geral:	53.7083333	Número de observações:	48		

 Teste Tukey para a FV PONTO

 DMS: 1,38758979147718 NMS: 0,05

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

 DMS: 0,850118778489883 NMS: 0,05

Variável analisada: TORQUE NA POTENCIA MAXIMA

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	2658.916667	886.305556	60.344	0.0000
Erro 1	8	117.500000	14.687500		
BIODIESEL	3	34.416667	11.472222	0.750	0.5331
PONTO*BIODIESEL	9	193.916667	21.546296	1.408	0.2393
Erro 2	24	367.166667	15.298611		
Total corrigido	47	3371.916667			
CV 1 (%) =	2.43				
CV 2 (%) =	2.48				
Média geral:	157.9583333	Número de observações:	48		

 Teste Tukey para a FV PONTO

 DMS: 5,0137049724383 NMS: 0,05

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

 DMS: 4,40635955100362 NMS: 0,05

 Média harmônica do número de repetições (r): 12

 Erro padrão: 1,12910772703904

Variável analisada: TORQUE MAXIMO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	3000.416667	1000.138889	666.759	0.0000
Erro 1	8	12.000000	1.500000		
BIODIESEL	3	23.416667	7.805556	4.532	0.0118
PONTO*BIODIESEL	9	52.750000	5.861111	3.403	0.0079
Erro 2	24	41.333333	1.722222		

 Total corrigido 47 3129.916667

CV 1 (%) = 0.62

CV 2 (%) = 0.66

Média geral: 197.5416667 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 1,60225067926825 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,353553390593273

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 1,47842236493797 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,378838380471829

Variável analisada: CONSUMO ESPECIFICO MINIMO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	2168.698333	722.899444	10.655	0.0036
Erro 1	8	542.793333	67.849167		
BIODIESEL	3	46.451667	15.483889	0.395	0.7580
PONTO*BIODIESEL	9	316.316667	35.146296	0.896	0.5436
Erro 2	24	941.586667	39.232778		

 Total corrigido 47 4015.846667

CV 1 (%) = 3.63

CV 2 (%) = 2.76

Média geral: 227.0833333 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 10,7759878693761 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 2,37783456578085

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 7,05632310299566 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 1,80814771192736

Variável analisada: CONSUMO HORARIO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	6.817500	2.272500	2.040	0.1868
Erro 1	8	8.910000	1.113750		
BIODIESEL	3	0.742500	0.247500	0.386	0.7641
PONTO*BIODIESEL	9	11.812500	1.312500	2.047	0.0780
Erro 2	24	15.390000	0.641250		

 Total corrigido 47 43.672500

CV 1 (%) = 8.88

CV 2 (%) = 6.74

Média geral: 11.8875000 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 1,38063441037719 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,304651440173849

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 0,902126869779087 NMS: 0,05

Variável analisada: INDICE DE ELASTICIDADE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	3.750456	1.250152	15.871	0.0010
Erro 1	8	0.630167	0.078771		
BIODIESEL	3	0.051856	0.017285	0.406	0.7499
PONTO*BIODIESEL	9	0.239085	0.026565	0.624	0.7649
Erro 2	24	1.021233	0.042551		

 Total corrigido 47 5.692798

CV 1 (%) = 11.65

CV 2 (%) = 8.56

Média geral: 2.4085417 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 0,367170308868947 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,0810199735319082

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 0,232386448853731 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,0595478721204551

Variável analisada: RESERVA DE TORQUE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	1975.563123	658.521041	62.061	0.0000
Erro 1	8	84.887600	10.610950		
BIODIESEL	3	7.265390	2.421797	0.246	0.8635
PONTO*BIODIESEL	9	96.905219	10.767247	1.093	0.4037
Erro 2	24	236.421667	9.850903		

 Total corrigido 47 2401.042998

CV 1 (%) = 12.86

CV 2 (%) = 12.39

Média geral: 25.3352083 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 4,2614948593934 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 0,940343465619522

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 3,53583463679839 NMS: 0,05

Variável analisada: RESERVA DE ROTAÇÃO

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

 TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
PONTO	3	9060.472092	3020.157364	7.051	0.0123
Erro 1	8	3426.523100	428.315387		
BIODIESEL	3	239.499942	79.833314	0.360	0.7824
PONTO*BIODIESEL	9	1145.968492	127.329832	0.574	0.8049
Erro 2	24	5323.895567	221.828982		

 Total corrigido 47 19196.359192

CV 1 (%) = 22.58

CV 2 (%) = 16.25

Média geral: 91.6395833 Número de observações: 48

 Teste Tukey para a FV PONTO

DMS: 27,0748882848717 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 5,97435761888534

 Teste Tukey para a FV BIODIESEL

DMS: 16,7788840321151 NMS: 0,05

Média harmônica do número de repetições (r): 12

Erro padrão: 4,29950561057552