

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**MISTURAS DE BIODIESEL DE SOJA, COM  
ADITIVAÇÃO E VARIAÇÃO DO PONTO DE AVANÇO,  
EM UM MOTOR DE INJEÇÃO DIRETA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Gustavo Heller Nietiedt**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2010**

# **MISTURAS DE BIODIESEL DE SOJA, COM ADITIVAÇÃO E VARIÇÃO DO PONTO DE AVANÇO, EM UM MOTOR DE INJEÇÃO DIRETA**

**por**

**Gustavo Heller Nietiedt**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, Linha de Pesquisa de Projeto e Utilização de Máquinas Agrícolas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

**Orientador: Prof. José Fernando Schlosser, Dr. Eng.**

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**MISTURAS DE BIODIESEL DE SOJA, COM ADITIVAÇÃO E  
VARIAÇÃO DO PONTO DE AVANÇO, EM UM MOTOR DE INJEÇÃO  
DIRETA**

elaborada por  
**Gustavo Heller Nietiedt**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Agrícola

**Comissão Examinadora**

**José Fernando Schlosser, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

**Leonardo Nabaes Romano, Dr. (UFSM)**

**Walter Boller, Dr. (UPF)**

Santa Maria, agosto de 2010.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho...

...ao meu pai, Olário Nietiedt e à minha mãe, Ingrid Margarida Heller Nietiedt, os quais estiveram sempre ao meu lado no decorrer desta caminhada, me apoiando e dando força para superar obstáculos que por muitas vezes pareciam intransponíveis

...a minha companheira, Franciele, pelo carinho, zelo, dedicação e compreensão. Tenha a certeza de que esta conquista e as próximas que virão também são fruto do teu trabalho

... ao meu avô paterno, Valdemar Nietiedt (*in memoriam*) e ao meu avô materno, Ervin Dietz Heller (*in memoriam*), que em vida me ensinaram a sempre buscar a plena realização dos meus ideais. Vocês fazem parte desta conquista, e sei que devem estar sentindo um grande orgulho e uma imensa satisfação pelas minhas realizações.

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pelo dom da existência e pela perseverança que encontro sob a sua luz.

Aos meus pais, **Olário Nietiedt** e **Ingrit Margarida Heller Nietiedt** por terem me acolhido, me educado e me dado todo o incentivo, sempre exercitando virtudes como a paciência e a compreensão durante este e outros períodos importantes da minha vida. De um jeito simples e sincero, vocês me fizeram crescer como pessoa e profissional, simplesmente pelo amor e pela crença que depositaram na minha pessoa. Ainda estou buscando formas de retribuir, este é apenas um pequeno gesto que deixa explícito todo o reconhecimento e o carinho que tenho por vocês.

A **Universidade Federal de Santa Maria**, instituição que me tornou um profissional dedicado e me deu a oportunidade de crescer ainda mais ao cursar minha pós graduação pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao Programa de **Pós Graduação em Engenharia Agrícola**, pela grande participação que teve durante o meu aperfeiçoamento profissional.

Ao **Professor Dr. José Fernando Schlosser**, pela orientação e amizade. Foste um mestre que me proporcionou desvendar um dos mais valiosos aprendizados: o positivismo.

Aos colegas, **Ulisses Giacomini Frantz** e **Alexandre Russini**, por demonstrarem na prática o valor do companheirismo e da amizade, e a força que a união proporciona. Aos demais colegas de departamento **Rodrigo Lampert Ribas**, **Paula Machado dos Santos**, **André Luis Casali**, **Pietro Furian Araldi**, **Marcelo Silveira**, **Ronaldo Carbonari**, **Marçal Elizandro Dornelles**, **Daniel Uhry**, **Marivan Pinho** e **Marcelino João Knob** pela amizade e também pela enorme contribuição no aprendizado e na condução dos meus trabalhos. Vocês demonstraram que a base para alcançar e manter um espírito de grupo é sempre acreditar no potencial dos demais companheiros.

Aos funcionários técnico-administrativos, **Manoel Zeri**, **Sérgio** e **Alberi**, pela ajuda e companheirismo. Aos demais estagiários e funcionários do Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas (NEMA) e do Laboratório de Agrotecnologia. Agradeço pela convivência durante todo este período.

Ao professor **Leonardo Nabaes Romano** pelo aprendizado que me proporcionaste e pela amizade dentro e fora do âmbito acadêmico.

A todos os meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado e também às demais pessoas que me apoiaram e contribuíram para a realização deste sonho. Obrigado.

O Autor

***“Hoje os ventos do destino começaram a soprar  
nosso tempo de menino foi ficando para trás  
com a força de um moinho, que trabalha devagar  
vai buscar o teu caminho, nunca olha para trás...”***

Trecho extraído da música “Depois de Nós”

Carlos Maltz, 2004,

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria

### **MISTURAS DE BIODIESEL DE SOJA, COM ADITIVAÇÃO E VARIAÇÃO DO PONTO DE AVANÇO, EM UM MOTOR DE INJEÇÃO DIRETA**

Autor: Gustavo Heller Nietiedt  
Orientador: Prof. Dr. José Fernando Schlosser  
Santa Maria, 9 de Agosto de 2010.

O óleo diesel combustível é utilizado em grande escala no país e no mundo. Por outro lado, a crescente conscientização ambiental acarreta em uma maior demanda por recursos energéticos renováveis. O pioneirismo no uso do etanol faz com que o Brasil também ostente condições de avançar rapidamente na consolidação do uso do biodiesel em maiores escalas, na substituição ou em mistura ao diesel de origem mineral em motores de Ciclo Diesel. Assim, o presente trabalho avaliou, por meio de ensaios em bancada dinamométrica, o desempenho de um trator agrícola equipado com motor de injeção direta sob a utilização de diferentes misturas de biodiesel metílico de soja. Também foi avaliada a influência da adição de aditivos para a melhoria de desempenho, bem como foram utilizados dois pontos de avanço de injeção, sendo um deles original e o outro adiantado. Os melhores resultados foram obtidos sob a utilização do combustível B10, para todos os parâmetros de desempenho avaliados (torque, potência e consumo específico de combustível). Para a variável torque essa proporção apresentou valores apenas 0,4% maiores que os apresentados pela proporção B5, sendo que, para a variável potência, os valores do combustível B10 foram superiores em apenas 0,2% em relação ao B5, tornando praticamente inexpressivas as diferenças entre tais combustíveis. Já o combustível B100 apresentou o menor desempenho em torque, potência e consumo específico. Em relação ao consumo específico, essa proporção apresentou os maiores valores, 10% superiores aos valores apresentados pelo combustível B10. Quanto ao uso de aditivos e o avanço no ponto inicial de injeção não foi identificada maior significância nos resultados obtidos. Para estas condições de ensaio, onde foram realizados testes em um trator modelo 1986, dotado de um motor com 3000 horas de uso, percebe-se que há a possibilidade de utilização de maiores teores de biodiesel adicionado ao diesel de origem mineral sem a necessidade de maiores modificações no motor. Todavia, é perfeitamente normal que ocorra relativa queda de desempenho sob o uso de maiores teores de biodiesel metílico de soja. Assim, deve-se considerar a possibilidade de utilização de maiores proporções de biodiesel adicionado ao diesel comercial, realizando-se uma análise da viabilidade econômica inerente ao uso desses biocombustíveis.

Palavras-chave: biocombustíveis; soja; injeção direta.

## **ABSTRACT**

Master Thesis  
Post-graduate Program in Agricultural Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **SOYBEANS BIODIESEL BLENDS, WITH ADDITIVES AND VARYING INJECTION TIMING, IN A DIRECT INJECTION ENGINE**

Author: Gustavo Heller Nietiedt  
Adviser: Prof. Dr. José Fernando Schlosser  
Santa Maria, August 9, 2010.

The diesel fuel is used widely in the country and the world. Moreover, growing environmental awareness leads to a larger demand for renewable energy resources. The pioneering in the use of ethanol makes Brazil also bears some conditions to move quickly to consolidate the use of the biodiesel in larger scales, in the replacement or as a blend with mineral diesel in diesel engines. Thus, this work evaluated by tests on a dynamometer bench, the performance of an agricultural tractor equipped with direct injection engine using different blends of soybeans methyl biodiesel. Also, it was analyzed the influence of additives to improve the performance, and it was used two positions of injection timing, one of them original and the other advanced. The best results were obtained using the B10 fuel for all performance parameters measured (torque, power and specific fuel consumption). For the variable torque this proportion presented values 0.4% higher than the values presented by the B5 proportion, being that, for the variable power, the values of B10 fuel were higher 0.2% compared to B5, making the differences between the fuels virtually inexpressive. Already the B100 fuel presented the lowest performance in torque, power and specific fuel consumption. For the specific fuel consumption, this proportion presented the highest values, 10% higher than the values for B10 fuel. Regarding the use of additives and the variation of the initial injection timing it was not identified significance in the results. For these test conditions, where tests were realized in a tractor model 1986, equipped with an engine with 3000 hours of work, it is possible to observe that there is the possibility of use higher concentrations of biodiesel added to mineral diesel without the necessity of engine modifications. However, it is perfectly normal that happened a performance fall under the use of higher levels of soybeans methyl biodiesel. Thus, should be consider the use of higher proportions of biodiesel added to diesel commercial, doing an analysis of the economic viability inherent of biofuels use.

Keywords: Biofuels; soybeans; direct injection.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1- Custos de produção do biodiesel nas cinco Regiões do país .....	30
FIGURA 2- Produção de biodiesel nos países da Europa em mil toneladas. ....	36
FIGURA 3- Reação química de transesterificação.....	38
FIGURA 4- Dinamômetro de correntes parasitas utilizado nos ensaios. ....	49
FIGURA 5- A) Tela principal de registro dos dados pelo Software Accudyno®; (B) Central de aquisição de dados do dinamômetro; (C) Módulo de operação de carga fornecida pelo dinamômetro; (D) Vista geral do computador utilizado e do módulo de operação. ....	50
FIGURA 6- Trator MF 275 acoplado ao dinamômetro de correntes parasitas NL 480.	52
FIGURA 7- Procedimento de pesagem para determinação da densidade do óleo diesel.....	54
FIGURA 8- Pesagem do biodiesel para determinação da densidade (A); e diferenças visuais entre o diesel comercial (à direita) e o biodiesel metílico de óleo de soja (à esquerda) (B). ....	57
FIGURA 9- Esquema de instalação do fluxômetro.....	60
FIGURA 10- Fluxômetro utilizado nas medições de consumo horário de combustível (L/h).....	60
FIGURA 11- Identificação do PMS referencial e do novo PMS (ponto de avanço da injeção adiantado). ....	63
FIGURA 12- Haste metálica inserida no orifício de saída do combustível da bomba injetora para o bico injetor de combustível, caracterizando o alinhamento do orifício com a tubulação. ....	64
FIGURA 13- Torque obtido para os diferentes combustíveis utilizados. ....	69
FIGURA 14- Potência obtida para os diferentes combustíveis utilizados. ....	73
FIGURA 15- Consumo específico obtido para os diferentes combustíveis. ....	76

FIGURA 16- Curva de torque para o combustível B5 com ponto de avanço original e adiantado.....	79
FIGURA 17- Curva de torque para o combustível B100 com ponto de avanço original e adiantado.....	80
FIGURA 18- Curva de consumo específico para o combustível B5 com ponto de avanço original e adiantado.....	82
FIGURA 19- Curva de consumo específico para o combustível B20 com ponto de avanço original e adiantado.....	82
FIGURA 20- Curva de consumo específico para o combustível B100 com ponto de avanço original e adiantado.....	83

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Oleaginosas e suas características de produtividade.....	29
TABELA 2 - Diferentes tipos de ésteres e suas respectivas viscosidades .....	40
TABELA 3 - Propriedades inerentes a combustíveis oriundos de diferentes meios.....	45
TABELA 4 - Maiores valores obtidos com o combustível B5.....	68
TABELA 5 - Maiores valores de torque obtidos para os diferentes combustíveis e reserva de torque calculada .....	72
TABELA 6 - Maiores valores de potência para os diferentes combustíveis .....	74
TABELA 7 - Menores valores de consumo específico para os diferentes combustíveis .....	76

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- Fórmula estrutural de ácidos graxos componentes de óleos vegetais ....	27
QUADRO 2- Especificações do dinamômetro MWD NL 480 .....	49
QUADRO 3- Especificações do motor que equipa o trator utilizado .....	51
QUADRO 4- Principais características do diesel mineral utilizado .....	53
QUADRO 5- Propriedades do biodiesel metílico de soja utilizado nos ensaios .....	55
QUADRO 6- Diferentes proporções de mistura utilizadas nos ensaios .....	56
QUADRO 7- Propriedades físico químicas do aditivo utilizado .....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Agrotec – Laboratório de Agrotecnologia
- ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
- ASAE - American Society of Agricultural Engineers
- CATI – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
- CERBIO – Centro de Referência de Biocombustíveis
- CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
- CPEA – Centro de Estudo Avançados em Economia Aplicada
- DIC – Delineamento inteiramente casualizado
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- g/kW.h<sup>-1</sup> - Gramas por kW por hora (unidade de consumo específico)
- ha – Hectare
- HCl – Ácido clorídrico
- INT – Instituto Nacional de Tecnologia
- ISO – International Standardization Organization
- kg - Quilograma
- kg/m<sup>3</sup> - Massa específica
- kW – Unidade de potência no SI
- MJ/kg – Poder calorífico do combustível (energia por unidade de massa)
- mm – Milímetro (unidade no SI)
- mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> – Unidade de viscosidade cinemática (cSt)
- NaOH – Hidróxido de sódio
- NBR, NB – Norma Brasileira
- NC – Número de cetano

NEMA - Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas  
N.m – Torque (unidade de momento no SI)  
NOx – Óxidos de Nitrogênio  
OVEG – Óleos vegetais  
PMS – Ponto morto superior  
PR – Paraná  
PROBIODIESEL – Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel  
PROALCOOL – Programa Nacional do Alcool  
RPM - Rotações por minuto  
RS - Rio Grande do Sul  
TDP - Tomada direta de potência  
TECPAR – Instituto de Tecnologia do Paraná  
UFPA – Universidade Federal do Pará  
UFCE – Universidade Federal do Ceará  
UFPR – Universidade Federal do Paraná  
UFSM - Universidade Federal de Santa Maria  
USP – Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1	Contextualização do problema .....	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>23</b>
2.1	Considerações iniciais .....	23
2.2	A propensão da agricultura brasileira ao cultivo de oleaginosas .....	25
2.2.1	A cultura da soja no país.....	25
2.3	Principais matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil .....	26
2.4	O biodiesel no Brasil: pesquisa e utilização .....	31
2.5	O biodiesel no mundo .....	33
2.5.1	Estados Unidos da América.....	34
2.5.2	Alemanha.....	34
2.5.3	França .....	35
2.5.4	Itália .....	35
2.5.5	Espanha.....	35
2.5.6	Reino Unido.....	36
2.6	O biodiesel e suas propriedades .....	37
2.6.1	Conceito de biodiesel.....	37
2.6.2	A utilização do álcool metílico e do álcool etílico.....	38
2.6.3	Viscosidade .....	39
2.6.4	Número de Cetano .....	41
2.6.5	Densidade.....	42
2.6.6	Poder calorífico .....	43
2.7	Diferenças entre motores de injeção direta e indireta.....	43
2.8	O ponto de avanço da injeção.....	44
2.9	A utilização de aditivos químicos em combustíveis .....	45
<b>3</b>	<b>MATERIAL E METODOLOGIA .....</b>	<b>47</b>
3.1	Considerações Iniciais .....	47
3.2	Local do experimento .....	47
3.3	Bancada dinamométrica .....	48
3.4	O trator utilizado .....	51
3.5	Os combustíveis e os aditivos utilizados .....	53
3.5.1	O diesel B5 .....	53
3.5.2	O biodiesel metílico de soja e as misturas binárias .....	54
3.5.3	O aditivo químico utilizado .....	57

<b>3.6</b>	<b>Determinação do consumo de combustível</b> .....	<b>58</b>
<b>3.7</b>	<b>Bomba injetora utilizada e o ponto de avanço de injeção</b> .....	<b>61</b>
3.7.1	Princípio de funcionamento da bomba injetora rotativa .....	61
3.7.2	Ajustes realizados no ponto inicial de avanço de injeção .....	62
<b>3.8</b>	<b>Ensaio em bancada dinamométrica conforme a Norma NBR ISO 1585 (2006)</b> .....	<b>64</b>
<b>3.9</b>	<b>Delineamento experimental e variáveis analisadas no experimento</b> .....	<b>66</b>
<b>3.10</b>	<b>Considerações finais do capítulo</b> .....	<b>67</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>68</b>
<b>4.1</b>	<b>A utilização do diesel comercial (B5) para os ensaios testemunha</b> .....	<b>68</b>
<b>4.2</b>	<b>Resultados obtidos para a variável torque</b> .....	<b>68</b>
<b>4.3</b>	<b>Resultados obtidos para a variável potência</b> .....	<b>72</b>
<b>4.4</b>	<b>Resultados obtidos para a variável consumo específico</b> .....	<b>75</b>
4.4.1	Menores valores de consumo específico .....	75
4.4.2	Maiores valores de consumo específico .....	77
<b>4.5</b>	<b>Modificações no ponto de avanço de injeção e o uso de aditivos químicos</b> .....	<b>78</b>
4.5.1	A utilização dos aditivos químicos .....	78
4.5.2	As modificações no ponto inicial de avanço da injeção .....	79
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>84</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>86</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização do problema

Torna-se cada vez mais evidente que o planeta atravessa uma longa crise global, sem precedentes, apresentando como fatores geradores de tal situação uma série de componentes, não só políticos e sociais como também ambientais. Tais modificações começaram a tomar forma a partir da situação gerada nos períodos que sucederam o término da Segunda Guerra Mundial com o fortalecimento dos Estados Unidos da América. Esse país, ainda hoje, apesar das recentes turbulências econômicas ostenta o título de “potência econômica mundial”. Nesse período pós guerra, houve um progressivo crescimento da classe média e um constante incremento nos patamares de consumo e desenvolvimento, não só de países desenvolvidos como também de emergentes, definindo assim a condição atual de globalização mundial.

Um dos principais “combustíveis” responsáveis pela criação da situação abordada no parágrafo anterior foi, sem dúvida, a utilização do petróleo e de seus derivados. Todavia, a crescente elevação dos preços praticados no comércio do petróleo e seus derivados, devido em parte à possibilidade de escassez do mesmo, e o fortalecimento da consciência ambiental mundial geram um contexto que direciona esforços no que tange ao desenvolvimento de alternativas viáveis na substituição do petróleo como fonte de energia. Neste cenário, o biodiesel pode ocupar um importante papel, figurando como uma alternativa técnica e economicamente viável.

Voltando os olhares ao Brasil, país que já tem experiência na geração de combustíveis oriundos da biomassa vegetal, visto que há mais de 30 anos utiliza o etanol em motores de Ciclo Otto como alternativa ao uso da gasolina, pode-se constatar que o uso de óleos vegetais na produção de biocombustíveis já pode ocupar o *status* de realidade. Estas experiências nacionais, como o Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL) criado na década de 70 quando foi desencadeada uma forte crise no setor petrolífero, proporcionaram grandes avanços

ao Brasil, se traduzindo em consequências benéficas ao setor da agroindústria e da economia brasileira, o que propiciou a redução do custo de produção do etanol. O Programa Nacional do Álcool apresentou saldo satisfatório, superando as ambiciosas metas, o que demonstra o valor da potencialidade da biomassa no Brasil. Por outro lado, lamentavelmente, o álcool beneficia apenas os veículos leves, de passeio (CANDEIA, 2008).

O pioneirismo no uso do etanol e na criação de tecnologias de utilização deste combustível nos chamados motores *flex*, faz com que o Brasil ostente condições de avançar rapidamente na consolidação do uso do biodiesel em maiores escalas. Esse combustível poderá substituir o diesel de origem mineral em motores de Ciclo Diesel, visto que esta é uma realidade atualmente presente em vários países desenvolvidos. Em contraponto, sabe-se que o diesel de origem mineral ainda é largamente utilizado no país e no mundo, principalmente em motores agrícolas, mesmo os de pequeno porte (JULIATO, 2006). Cabe ressaltar que, na União Europeia, o Parlamento estabeleceu ainda em 2003 as diretrizes para a produção e o uso dos combustíveis renováveis no setor de transporte. Essa medida é parte integrante do plano de ações que visam o cumprimento das metas estabelecidas no Protocolo de Quioto, além de auxiliar na manutenção das fontes de suprimento de energia em médio e longo prazo (EUROPEAN UNION, 2003).

Segundo o Plano Nacional de Agroenergia (2006-2011), a agroenergia é uma das prioridades do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e deriva da necessidade de energia como insumo para o crescimento da nação (BRASIL, 2005a). A grande fronteira agrícola brasileira e a possibilidade de expansão fazem com que o biodiesel possa ser utilizado em larga escala, sendo produzido a partir de diversas fontes que se adaptam as mais variadas condições climáticas existentes no país. Todavia, a soja mostra-se como a cultura com melhor capacidade de suprir esta demanda pelo seu cultivo em grande escala, respondendo por mais de 90% dos óleos vegetais produzidos no Brasil (SALA, 2008).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) fixou a adição da proporção de 5% de biodiesel ao diesel de origem mineral desde janeiro de 2010 (ANP, 2010). Esse mesmo órgão destaca que a demanda atual de diesel de origem mineral aproxima-se de 48.000.000 m<sup>3</sup>. Assim, fazendo-se uma análise de utilização de óleo vegetal de soja na geração de biodiesel, onde 10% deste combustível seja adicionado ao diesel de origem mineral, diagnostica-se a

necessidade de 4.800.000 m<sup>3</sup>, o que se traduziria no comprometimento de 32,98% (22.760.000 t) da atual produção brasileira de soja.

A introdução gradual do biodiesel na matriz energética brasileira vem criando um cenário em que se possibilita aos fabricantes o desenvolvimento de novas tecnologias para a introdução do uso deste combustível, de forma a otimizar o desempenho, diminuir o consumo e proporcionar um maior controle das emissões residuais (SALA, 2008). Pressupõe-se que, apesar do biodiesel apresentar características semelhantes as do diesel de origem mineral, o mesmo possui diferenças que podem influenciar no funcionamento de um motor, principalmente a viscosidade, o número de cetano, o poder calorífico e a densidade. Todavia, estas pequenas diferenças criam uma situação favorável ao uso deste biocombustível, em mistura ao diesel de origem mineral, sem maiores alterações nos motores que atualmente equipam boa parte dos veículos pesados e máquinas agrícolas em uso no país. Além do contínuo desenvolvimento e pesquisa em motores adaptados à utilização de maiores proporções de biodiesel, cabe salientar ainda a necessidade do país em gerar soluções para os seguintes problemas inerentes à produção e utilização do biodiesel:

- Problemas de ordem econômica, visto que o custo de produção do biodiesel, para as diferentes matérias primas utilizadas, tende a gerar um preço mais elevado ao consumidor final em comparação ao diesel de origem mineral;
- Problemas de ordem comercial, tendo em vista a necessidade de geração de alternativas para a utilização de subprodutos oriundos dos processos de obtenção do biodiesel (transesterificação), dentre eles a glicerina;
- Problemas de ordem ambiental, considerando a quantidade de matéria prima necessária para a produção de biodiesel prevista na composição em mistura com o diesel de origem mineral.

Assim, este trabalho expressou a importância da realização de pesquisas acerca de biocombustíveis, cujo foco seja a avaliação do desempenho da máquina nos momentos em que a mesma é requerida em sua tarefa. Desta forma, utilizando-se como base a reprodução das condições de trabalho realizadas diariamente com tratores e demais máquinas agrícolas, tornou-se possível a geração de informações tanto para o segmento agrícola quanto para o segmento industrial, que por sinal, se mostra engajado na ideia do desenvolvimento e produção de máquinas cada vez mais eficientes na utilização de biocombustíveis.

A importância da realização de trabalhos voltados a estas linhas de pesquisa abrange não só o desenvolvimento de novas diretrizes para a engenharia agrícola como também o fornecimento de um maior embasamento para a tecnificação da produção de matérias primas, explorando o potencial produtivo de cada região. Assim, produtores rurais e indústrias poderão usufruir de uma gama de possibilidades no que tange à produção de biocombustíveis. A condução de estudos utilizando motores de injeção direta de combustíveis colabora para a formação de um maior suporte de informações relacionadas a esse tipo de motor, o qual equipa a maior parte das máquinas agrícolas atualmente desenvolvidas e produzidas pelo setor industrial. Em suma, o objetivo geral do trabalho foi a avaliação do desempenho de um motor de injeção direta em um dinamômetro de corrente elétrica sob a utilização de diferentes proporções de misturas de biodiesel e diesel mineral, aditivados ou não, em um regime de funcionamento que utilizou diferentes pontos de avanço de injeção.

Este trabalho evidencia dois fatores que frequentemente são constatados por produtores, técnicos e pesquisadores que projetam sua atuação no setor produtivo: a manutenção da competitividade dentro dos atuais moldes da agricultura por meio da redução dos custos de produção e da otimização no uso dos recursos; e a crescente preocupação com parâmetros ambientais, uma vez que o uso de máquinas agrícolas alimentadas por combustíveis fósseis figura como um agente produtor de poluentes nocivos ao ser humano e ao ambiente, como os gases de efeito estufa. Assim, estudos com a capacidade de propor alternativas na geração de recursos renováveis, e que possam viabilizar o uso destas alternativas, são de crucial importância para um país como o Brasil, onde é possível constatar uma série de vantagens para produção de biocombustíveis, tais como geografia favorável, elevados patamares de temperaturas médias anuais, boa disponibilidade hídrica e regularidade de chuvas.

Do ponto de vista prático do trabalho, uma justificativa bastante coerente é a investigação das variações dos parâmetros de rendimento de um motor agrícola quando em seu funcionamento utilizando combustíveis alternativos. Torna-se pertinente lembrar que existem diferenças nas propriedades físicas e químicas entre os combustíveis oriundos de fontes renováveis e o diesel de origem fóssil, bem como podem existir diferenças nas referidas propriedades entre biocombustíveis oriundos de diferentes matérias primas. Agrega-se também a possibilidade de

melhoria das características físico químicas das diferentes proporções de mistura dos biocombustíveis utilizados, por meio do uso de aditivos químicos.

Os capítulos subsequentes abordam uma breve revisão bibliográfica acerca da presente temática, bem como a descrição da metodologia utilizada e dos materiais necessários à obtenção dos resultados, os quais foram analisados e discutidos. Ao final do processo, foram realizadas as conclusões inerentes a tais resultados.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Considerações iniciais**

O óleo diesel combustível é utilizado em grande escala no país e no mundo, sendo que nos motores agrícolas esta conduta não foge à regra, uma vez que a maioria das máquinas agrícolas, mesmo que de pequeno porte, utilizam este combustível (MIALHE, 1996). Por outro lado, a crescente conscientização ambiental acarreta em uma maior demanda por recursos energéticos renováveis, fator que vem sendo determinante para a maior utilização de plantas oleaginosas visando à obtenção de biodiesel.

Segundo Parente (2003) a consciência mundial está se modificando em relação à produção e consumo de energia, especialmente quando a mesma é originária de fontes não renováveis, como é o caso dos combustíveis fósseis. Esse autor destaca ainda o ano de 1970 como um marco na história energética do planeta, uma vez que a partir daí, vários esforços foram dedicados à superação da crise, os quais incidiram basicamente em dois grupos de ação: conservação e economia energética; e aperfeiçoamento no uso de fontes alternativas de energia, como o álcool e o biodiesel.

O cenário nacional e mundial remetem a uma situação de maior estudo destas alternativas, englobando não só o uso de biodiesel como também a utilização de outros biocombustíveis, dentre os quais pode-se destacar o etanol. A geração de informações aprimoradas acerca desta temática figura como uma alternativa viável para a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa (BRASIL, 2005a).

O biodiesel é definido pelo National Biodiesel Board como monoálquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, obtido pelo processo de transesterificação de fontes renováveis de energia, como óleos vegetais e/ou gorduras animais, utilizado em substituição a combustíveis de origem fóssil em motores de ignição por compressão, de ciclo Diesel (BRASIL, 2004b). Segundo Hogan (2005) o biodiesel representa uma alternativa para o óleo diesel assim como o etanol representa uma alternativa para a gasolina, sendo voltado ao uso em motores diesel, sem necessitar maiores

alterações. De acordo com esse autor, o biodiesel pode ser usado puro ou em misturas com o diesel mineral em vários níveis.

Dentre as vantagens do biodiesel, cita-se a semelhança das suas propriedades às do diesel de origem mineral, possibilitando sua utilização sem maiores alterações em motores de ciclo Diesel, acarretando também a redução nos níveis de emissão de grande parte dos poluentes gerados (SANTOS *et al.*, 2004). Tat *et al.* (2007) destacam que o uso de biodiesel faz com que seja reduzida a emissão de vários gases com efeito poluente, exceto os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) que apresentam um incremento que varia de 5% a 15%. Cabe ressaltar também que apesar de assemelhar-se ao diesel de origem fóssil, o biodiesel possui pequenas diferenças que podem influenciar, de alguma maneira, no funcionamento do motor (SALA, 2008). Segundo esse autor, dentre tais diferenças pode-se mencionar a viscosidade, o número de cetano, o poder calorífico e a densidade, podendo ser maiores as disparidades no funcionamento do motor quanto maiores forem as proporções de biodiesel adicionadas ao diesel comercial.

Ainda no que se refere às vantagens no uso deste combustível alternativo, é pertinente ressaltar os inúmeros benefícios sociais que a produção de biodiesel pode acarretar. Estudos desenvolvidos pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Integração Nacional e Ministério das Cidades mostram que a cada 1% de substituição de óleo diesel por biodiesel produzido com a participação da agricultura familiar podem ser gerados cerca de 45 mil empregos no campo, com uma renda média anual de aproximadamente R\$ 4.900,00 por emprego. Assim, admitindo-se que para cada um emprego gerado no campo são gerados três empregos nas áreas urbanas, tem-se um resultado que projeta o estabelecimento de 180 mil empregos. Numa hipótese otimista de 6% de participação da agricultura familiar no mercado de biodiesel, seriam gerados mais de um milhão de empregos (BRASIL 2005a).

O mercado potencial do biodiesel é determinado utilizando como base comparativa o mercado de derivados de petróleo, uma vez que o biodiesel figura como o substituto direto para o óleo diesel. Atualmente a demanda total de óleo diesel no país é de mais de 44 bilhões de litros por ano (ANP, 2010), e apesar de a maior parte deste combustível ser produzido pelo país, verifica-se no biodiesel uma possibilidade de substituir a parcela de combustível que ainda é importada de outros países.

## 2.2 A propensão da agricultura brasileira ao cultivo de oleaginosas

Devido a grande diversidade climática e edáfica, o Brasil apresenta uma suntuosa capacidade produtiva de uma variada gama de espécies vegetais. Dentre as potencialidades citadas, a soja (*Glycine max*) desponta como a maior fonte de geração de óleo vegetal no país e no mundo.

### 2.2.1 A cultura da soja no país

Atualmente, a principal fonte de produção do biodiesel é a soja (*Glycine max*), de onde provém cerca de 85% de todo o biodiesel gerado no país. A soja figura como a principal *commodity* do país, com uma produção nacional situada ao redor de 57,2 milhões de toneladas (CONAB, 2009). As principais regiões produtoras são o Centro Oeste, parte do Nordeste e o Sul do país. Foi a partir da década de 1960, impulsionada pela política de subsídios ao trigo visando a auto suficiência, que a soja se estabeleceu como cultura economicamente importante para o Brasil. Nessa década, a sua produção multiplicou-se por cinco (passou de 206 mil toneladas, em 1960, para 1,056 milhão de toneladas, em 1969) e, 98% desse volume era produzido nos três estados da Região Sul. Apesar do significativo crescimento da produção no decorrer da década de 1960, foi na década seguinte que a soja se consolidou como a principal cultura do agronegócio brasileiro, passando de 1,5 milhões de toneladas (1970) para mais de 15 milhões de toneladas (1979). Esse crescimento se deu não apenas devido ao aumento da área cultivada (1,3 para 8,8 milhões de hectares), mas também devido ao expressivo incremento da produtividade (1,14 para 1,73t/ha) graças às novas tecnologias disponibilizadas aos produtores pela pesquisa brasileira. Mais de 80% do volume produzido na época ainda se concentrava nos três estados da Região Sul do Brasil.

Nas décadas de 1980 e 1990 repetiu-se, na região tropical do Brasil, o explosivo crescimento da produção ocorrido nas duas décadas anteriores na Região Sul. Em 1980, a região Centro-Oeste já apresentava um percentual de 20% da soja produzida no país, em 1990 tal participação já superava os 40% e em 2003 situou-

se próximo aos 60%, com tendências a ocupar maior espaço a cada nova safra. Essa transformação promoveu o Estado do Mato Grosso de produtor marginal a líder nacional de produção e de produtividade de soja, com boas perspectivas de consolidar-se nessa posição (EMBRAPA, 2004).

Cabe salientar que seu grão possui textura macia, sabor pouco amargo, elevados teores de ácido ascórbico e  $\beta$ -Caroteno e baixas quantidades de fatores antinutricionais, com 17-19% gordura e 35-40% de proteína (EMBRAPA SOJA, 2007). Cerca de 99% dos triacilglicerídeos presentes no óleo de soja são compostos pelos ácidos graxos: esteárico, linolênico, palmítico, oleico e linoleico (NETO *et al.*, 2000). Além disso, ainda existem pequenas quantidades de componentes não-glicerídicos, tais como: fitoesteróis, ceras, hidrocarbonetos, carotenoides, tocoferóis e fosfatídeos.

### **2.3 Principais matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil**

A utilização de óleos vegetais na sua forma *in natura* em motores de ciclo Diesel foi inicialmente considerada pelo seu próprio inventor, Rudolph Diesel, todavia a crescente oferta de derivados do petróleo durante a primeira metade do século XX criou uma situação bastante favorável à utilização do óleo diesel ao invés dos óleos de origem vegetal (SANTOS, 2007). O óleo diesel apresenta, em sua constituição, hidrocarbonetos alifáticos contendo de 9 a 28 átomos de Carbono em sua cadeia (BRAUN *et al.*, 2004), enquanto os óleos vegetais são triésteres de glicerina, oriundos da condensação da glicerina com ácidos graxos, cujas cadeias apresentam número de Carbonos que variam entre 12 e 18. O Quadro 1 lista o nome dos ácidos graxos que podem ser encontrados em óleos vegetais, a quantidade de carbonos e o número de duplas ligações de cada um e suas fórmulas estruturais.

Ácido graxo	Número de carbonos e ligações duplas	Estrutura química (= denota a posição da ligação dupla)
Caprílico	C8	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COOH
Cáprico	C10	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COOH
Láurico	C12	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> COOH
Mirístico	C14	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> COOH
Palmítico	C16:0	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> COOH
Palmitoléico	C16:1	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
Esteárico	C18:0	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COOH
Oléico	C18:1	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
Linoléico	C18:2	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
Linolênico	C18:3	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
Aracdônico	C20:0	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>18</sub> COOH
Eicosenóico	C20:1	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> COOH
Behênico	C22:0	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>20</sub> COOH
Erúcido	C22:1	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>11</sub> COOH

Fonte: Tyson (2001)

#### Quadro 1- Fórmula estrutural de ácidos graxos componentes de óleos vegetais

Segundo Ramos (2003), as limitações do uso de óleo vegetal *in natura* em motores de ciclo Diesel estão relacionadas às características intrínsecas a este tipo de óleo, tais como a alta viscosidade, composição em ácidos graxos, presença de ácidos graxos livres e pela tendência que estes ácidos graxos apresentam em formar um composto conhecido como goma por processos de oxidação ou polimerização, seja durante a combustão ou até mesmo durante períodos de estocagem. O mesmo autor salienta ainda que certos óleos vegetais apresentam propriedades indesejáveis como o elevado grau de insaturação e alta viscosidade e, que tais propriedades podem ser transferidas ao biodiesel gerado a partir destas matérias primas.

Segundo estudos de Knothe e Steidley (2005) e Meher *et al.*, (2006), os óleos vegetais *in natura*, não são ideais para aplicações diretas ao motor, por apresentarem uma série de inconformidades, tais como:

- Obstrução nos filtros de combustível e acúmulo de goma nos bicos injetores;
- Ocorrência de excessivos depósitos de carbono no motor;
- Diluição parcial do combustível no óleo lubrificante;
- Aumento considerável em custo de manutenção;

- Comprometimento da durabilidade do motor.

Realizada a análise que contempla esta série de inconvenientes inerentes ao uso de óleos vegetais em seu estado *in natura*, pode-se diagnosticar a existência de alternativas projetuais visando à utilização desse tipo de combustível. Uma destas alternativas refere-se ao uso de motores com características próprias ao funcionamento sob a utilização de óleos vegetais. Dentre estes sistemas é pertinente destacar os motores desenvolvidos pela Elsbett e pela DEUTZ FAHR, com sistemas de pré aquecimento dos óleos vegetais e com câmaras de pré combustão (DELGADO, 1994). Todavia, ambos os sistemas apresentam uma série de problemas tais como:

- Excessivo peso, necessitando ser ajustado a tratores e/ou máquinas agrícolas adequadamente lastrados;
- Complexidade na manutenção de componentes internos;
- Viabilidade econômica duvidosa, visto que o custo de aquisição destes equipamentos é substancialmente superior ao custo atribuído a equipamentos convencionais.

O Brasil apresenta uma grande capacidade no que diz respeito à produção agrícola, devido a uma série de fatores climáticos e edáficos. Deve-se destacar, além da sua diversidade climática, a grande variedade de ecossistemas. Esses fatores somados conferem ao país uma gama de possibilidades no que tange a produção de oleaginosas (TEIXEIRA, 2005). Tal favorecimento à produção de oleaginosas gera uma diversidade de matérias primas destinadas à produção de biodiesel, sendo pertinente que cada região defina quais são as espécies mais viáveis a serem produzidas e processadas para a geração deste biocombustível.

Teixeira (2005) destaca as principais oleaginosas que poderiam ser utilizadas como matérias primas para a obtenção de biodiesel: Soja (*Glycine max*), Algodão (*Gossypium spp.*), Mamona (*Ricinus communis*), Dendê (*Elaeis guineensis*), Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), Macaúba (*Acrocomia aculeata*) e Pinhão-manso (*Jatropha curcas*). A soja, mesmo destacando-se por ser uma maior fonte de proteína do que de óleo, é uma importante matéria-prima no intuito de produção de biodiesel, uma vez que quase 90% da produção de óleo no Brasil provem dessa leguminosa.

Não obstante, pode-se destacar também o amendoim, o qual possui maiores teores de óleo do que de proteína. Essa leguminosa poderá voltar a ser produzida em maior escala visando suprir uma maior demanda energética proveniente de óleos

vegetais. Assim sendo, caso seja visada a expansão da produção de óleos em terras homogêneas do cerrado brasileiro, o amendoim figura como uma das melhores opções, uma vez que trata-se de uma cultura totalmente mecanizável, e que também produz um farelo de excelente qualidade nutricional para rações e alimentos.

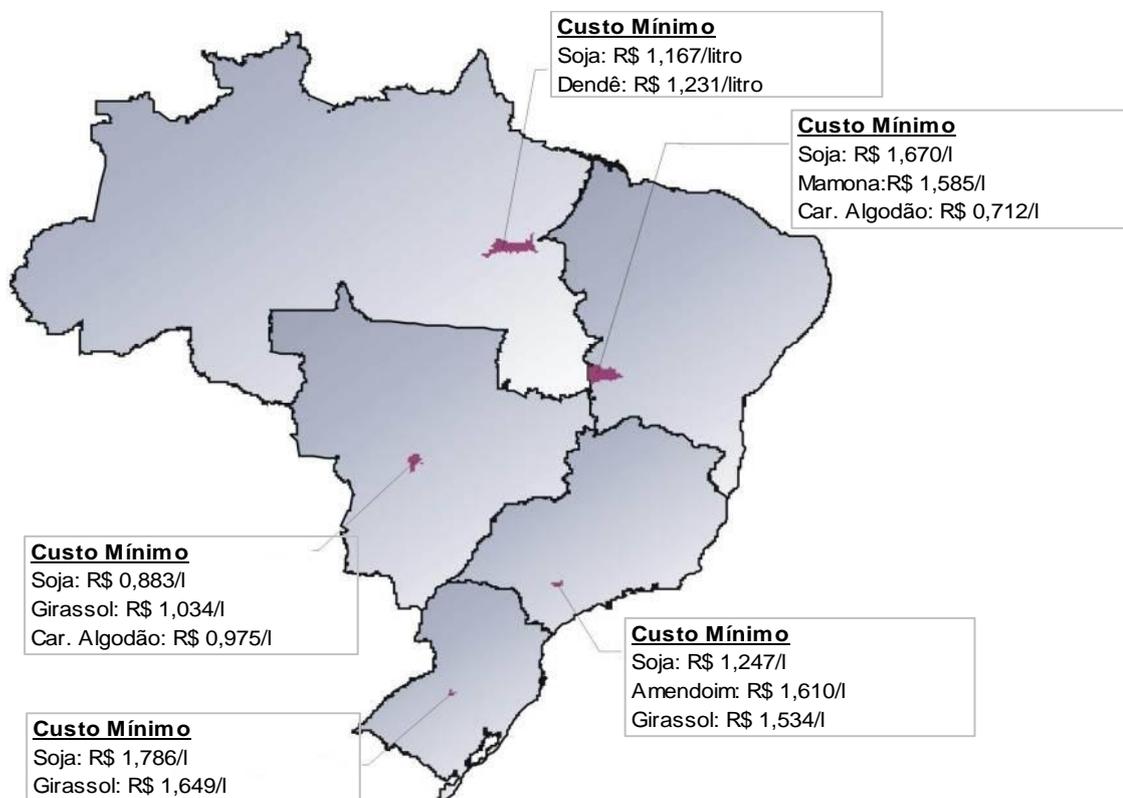
O girassol, por sua vez, situa-se numa posição intermediária entre a soja e o amendoim. Suas características alimentares atribuídas à produção de óleo podem dificultar seu emprego na produção energética, todavia, tal fato pode promover um deslocamento de parte expressiva da produção de óleo de soja para a geração de biodiesel. Outra cultura temporária de destaque é a da mamona. Estudos recentes sobre o agronegócio da mamona concluíram que ela constitui, no momento, a cultura de sequeiro mais rentável em certas áreas do semi-árido nordestino. Cabe ressaltar também uma das culturas de maior destaque mundial para a produção de biodiesel: a canola. O óleo de canola é a principal matéria prima para produção de biodiesel na Europa, e sua produtividade situa-se entre 350 e 400 kg de óleo por hectare, sendo considerada satisfatória para as condições europeias. O agronegócio da canola envolve a produção e comercialização do farelo, rico em proteínas, e que corresponde a mais de 1.000 kg por hectare e, além disso, a sua lavoura promove uma excelente adubação natural do solo. A canola pode ser cultivada no Brasil, a exemplo das culturas temporárias, por meio de uma agricultura totalmente mecanizada. Na Tabela 1 pode-se visualizar as características relevantes destas oleaginosas.

**Tabela 1 - Oleaginosas e suas características de produtividade**

<b>Espécie</b>	<b>Origem do Óleo</b>	<b>Teor de Óleo (%)</b>	<b>Meses de Colheita/ano</b>	<b>Produtividade (t óleo/ha)</b>
Canola	Grão	37 a 50	3	0,8 a 1,1
Girassol	Grão	38 a 48	3	0,5 a 1,9
Soja	Grão	18	3	0,2 a 0,4
Mamona	Grão	45 a 50	3	0,5 a 0,9
Algodão	Grão	15	3	0,1 a 0,2

Fonte: Teixeira (2005).

Segundo CEPEA (2006), o biodiesel produzido a partir de caroço de algodão, no Nordeste, numa planta de 100 mil t/ano, é o mais barato do Brasil. Contudo, não há como calcular o custo de produção do caroço; o mais adequado é tomá-lo sempre a preço de mercado. Levando-se em conta efetivamente a matéria prima em relação ao custo de produção, o menor custo é atribuído ao biodiesel obtido a partir da cultura da soja na região Centro-Oeste. Numa planta de 100 mil t/ano, um litro de biodiesel teria o valor mínimo de venda de R\$ 0,83, considerados os custos e receitas dos subprodutos (glicerina, lecitina, farelo e torta de oleaginosa), mesmo não se tendo um mercado consolidado para tais. Caso se queira simular os valores do biodiesel a partir de custos de produção agrícola, mas excluindo o valor de arrendamento da terra, obtem-se reduções significativas para alguns casos, todavia este cálculo pode ser enganoso em médio e longo prazo. Assim, não se recomenda a análise que exclui tal valor. Na média das plantas de 40 mil t/ano, a diminuição é de 8%. A Figura 1 demonstra os custos de produção (contabilizando o custo de arrendamento) nas diferentes regiões do país.



Fonte: CEPEA, Esalq (2006).

**Figura 1- Custos de produção do biodiesel nas cinco Regiões do país**

## 2.4 O biodiesel no Brasil: pesquisa e utilização

Segundo Juliato (2006), o Brasil se destaca entre as economias industrializadas pela elevada participação de fontes renováveis em sua matriz energética. Boa parte deste mérito atribui-se ao fato de que o Brasil é o maior país tropical do mundo, gerando um diferencial positivo para a produção de energia oriunda de biomassa (BRASIL, 2009). Assim, a produção de oleaginosas, matérias primas base para a geração de biodiesel, encontra adequadas condições para o seu desenvolvimento nas mais variadas regiões do país. Todavia, a ideia de se produzir combustíveis alternativos no Brasil não é recente, uma vez que desde meados de 1920 o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) já realizava estudos e avaliações utilizando combustíveis alternativos oriundos de fontes renováveis de energia (LIMA, 2004). Cabe ressaltar que estudos realizados pela National Biodiesel Board (2006), responsável pela implementação do biodiesel nos Estados Unidos, afirmam que o Brasil tem plenas condições de liderar a produção mundial de biodiesel, promovendo a substituição de pelo menos 60% do óleo diesel consumido em todo o mundo.

A produção de biodiesel no ano de 2008 foi de 1,16 bilhão de litros, traduzindo um aumento representativo frente aos anos anteriores, uma vez que em 2005 produziu-se 735 mil litros, no ano de 2006, 69 milhões de litros, e em 2007 a produção alcançou a margem dos 404 milhões de litros. Também torna-se pertinente destacar o potencial instalado de 63 usinas em Junho de 2010 com a capacidade de produção de mais de 14 milhões de litros ao dia, sendo que, do total de biodiesel produzido 71,16% foi obtido a partir de óleo de soja, 24,54% a partir de sebo animal, 3,25% a partir de óleo de algodão e 1,05% de outros materiais (ANP, 2010).

Na década de 1970, a Universidade Federal do Ceará (UFCE) desenvolveu pesquisas com o intuito de identificar fontes alternativas de energia. Tais experiências acabaram gerando um novo combustível, oriundo de óleos vegetais e que apresentava propriedades semelhantes as do óleo diesel convencional. Surgia então o conceito de biodiesel. Com o envolvimento de outras instituições de pesquisa, da Petrobrás e do Ministério da Aeronáutica, foi criado o PRODIESEL no ano de 1980. Segundo Lima (2004), o ano de 1983 destaca-se pelo fato de o Governo Federal, motivado pela alta nos preços do petróleo, ter lançado o Programa de Óleos Vegetais (OVEG), no qual foi testada a utilização de biodiesel em veículos

que percorreram mais de um milhão de quilômetros. É importante destacar que tal iniciativa teve o apoio de institutos de pesquisa, indústrias automobilísticas e de óleos vegetais, fabricantes de peças e, produtores de lubrificantes e combustíveis; destacando assim o importante papel que a indústria cumpre junto ao desenvolvimento de estudos voltados à tecnologia de aproveitamento dos recursos energéticos.

Recentemente, devido à elevação dos preços do óleo diesel e à intenção do Governo Federal em se reduzir a sua importação, o biodiesel passou a ser visto com maior interesse. Em outubro de 2002, o Ministério da Ciência e Tecnologia lançou o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel (PROBIODIESEL). Esse programa objetiva desenvolver maiores tecnologias de produção e um mercado de consumo de biocombustíveis, estabelecendo uma Rede Brasileira de Biodiesel que possa convergir às ações de especialistas e entidades responsáveis pelo desenvolvimento desse setor da economia. Como relata Lima (2004), o PROBIODIESEL também visa desenvolver e homologar as especificações do novo combustível e atestar a viabilidade e a competitividade técnica, econômica, social e ambiental a partir de testes de laboratório, bancada e campo.

Pode-se dizer que há um avanço em pesquisas e testes voltados à utilização de biodiesel no país. A Universidade Federal do Paraná (UFPR) vem desenvolvendo tecnologias para a produção de ésteres de óleo de soja, visando sua mistura ao diesel desde o ano de 1983. De janeiro a março de 1998, sob a coordenação do Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR), realizou-se em Curitiba uma experiência de campo com o uso monitorado de biodiesel B20 para uma frota de 20 ônibus urbanos, os quais operaram normalmente com o novo combustível. O Paraná dispõe também do Centro de Referência em Biocombustíveis (CERBIO), o qual é responsável pelas pesquisas com biodiesel, tanto como aditivo ao diesel quanto em combinação com o etanol. Algumas cidades, como Ribeirão Preto (SP), por exemplo, já começaram a utilizar o biodiesel em suas frotas de ônibus urbanos. O emprego de biodiesel nas empresas também está crescendo. Em São Paulo, a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) utiliza em sua frota de tratores o biodiesel a base de óleo de girassol.

## 2.5 O biodiesel no mundo

Em Comissão Europeia (2004), registra-se que a utilização de energias renováveis, particularmente as que se originam de biomassa, apresenta vantagens, dentre as quais: a redução das emissões de gases de efeito estufa, o aumento da oferta de energia, a produção de energia sustentável em longo prazo, a criação de oportunidades de emprego, o desenvolvimento econômico localizado e a redução das importações de combustíveis convencionais. Tais vantagens proporcionaram a expansão do uso das energias renováveis, principalmente no que se refere à produção de biocombustíveis. Cabe ressaltar também o fato de que as refinarias de petróleo da Europa tem buscado a eliminação do enxofre do óleo diesel. Logo, como a lubricidade do óleo diesel mineral dessulfurado diminui muito, a correção tem sido feita pela adição do biodiesel, uma vez que sua lubricidade é extremamente elevada (LIMA, 2004).

Atualmente, a União Europeia é responsável por cerca de 80% da produção mundial de biodiesel, ressaltando-se o fato de que os governos oferecem incentivos fiscais aos produtores. Por diante, a tributação dos combustíveis de petróleo na Europa, inclusive do óleo diesel mineral, é extremamente alta, garantindo a competitividade do biodiesel no mercado. O maior país produtor e consumidor de biodiesel é a Alemanha, responsável por cerca de 40% da produção mundial (BIODIESEL BR, 2007). Dentre as culturas utilizadas como matéria prima destaca-se a Colza, cultura tradicional em muitos países da Europa (França, Alemanha, Polônia, Suécia, Romênia, etc.), da América do Norte (Canadá) e tem dado os primeiros passos de implantação no Sul da Europa (Portugal e Espanha) acompanhando o crescimento do biodiesel (PENTEADO *et al.*, 2007).

O combustível está sendo produzido por mais de vinte países da Europa, dos quais nove tem capacidade instalada para produzir mais de 100 mil toneladas de biodiesel por ano utilizando para tal a canola (colza) como principal matéria prima. A produção total em 2005 foi de 3,2 milhões de toneladas, enquanto a capacidade produtiva instalada era de 4,2 milhões de toneladas, ou seja, os produtores trabalharam com 25% de capacidade ociosa. Em 2006, cerca de 60% do total do óleo de canola produzido na União Europeia destinou-se à produção de biodiesel (PRATES *et al.*, 2007).

### 2.5.1 Estados Unidos da América

Nos Estados Unidos, o desenvolvimento de trabalhos acerca desta área começou mais tarde, porém, o avanço tem sido consideravelmente rápido. Em 2005, 35 usinas estavam em atividade no país, sendo que, atualmente, esse número já supera a marca das 100 usinas. Vários estados americanos vem estimulando a adoção de fontes de energia limpa, com cortes de imposto sobre o combustível alternativo. A capacidade de produção estimada é de até 1,5 bilhões de litros por ano, porém a demanda atual situa-se em torno de 600 milhões de litros, sendo que a proporção de mistura mais utilizada é a de 20% de biodiesel adicionado ao diesel de origem mineral. É importante salientar que o Programa Americano de Biodiesel é todo baseado em pequenos produtores e consumidores, e a principal matéria prima para produção do biodiesel provém de soja, seguida do girassol e canola (PRATES *et al.*, 2007).

### 2.5.2 Alemanha

A Alemanha é a maior produtora de biodiesel da Europa, graças ao seu esforço e investimento na implementação de um expressivo programa de produção deste combustível utilizando como matéria prima a colza. O país apresenta uma capacidade de produção de mais de 1,7 bilhões de litros deste combustível, sendo este, distribuído de forma pura e isento de mistura ou aditivos, para a rede de abastecimento de combustíveis compostas por cerca de 1700 postos. A maior usina de biodiesel do mundo fica em Hamburgo, com capacidade para 600 milhões de litros por ano. A Alemanha conta com centenas de postos que vendem o biodiesel puro (B100), com garantia assegurada dos fabricantes de veículos. O produto é comercializado a preços competitivos se comparado ao óleo diesel, sendo ofertado a um preço quase € 0,10 por litro mais barato do que o diesel mineral (PRATES *et al.*, 2007).

### 2.5.3 França

É a segunda maior produtora de biodiesel na Europa, com capacidade de cerca de 500 mil toneladas anuais. A maior parte da produção teve início na década de 1990, sendo proveniente da colza e do girassol, com estímulo do governo. Das treze refinarias de petróleo em funcionamento no país, sete delas misturam 5% de biodiesel ao óleo diesel de origem mineral. O B30, por sua vez, é utilizado em frotas civis, tendo em vista que os ônibus urbanos utilizam a mistura biodiesel/diesel em uma faixa de 5% a 30 %. A preocupação central é reduzir a dependência por importações de combustíveis, bem como reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> (PENTEADO *et al.*, 2007).

### 2.5.4 Itália

Na Itália a produção do biodiesel iniciou-se em 1995. Esta produção dá-se inteiramente através do processamento do óleo vegetal de canola (80%) e girassol (20%). Nesse país, utiliza-se o biodiesel puro (B100) para o aquecimento residencial e em mistura visando sua utilização no setor de transporte, nas proporções B5 e B25, as quais devem estar de acordo com a Diretiva/2003/30/CE. Em 2003, foi determinado pelo governo como forma de incentivo a isenção tributária completa até uma quantidade anual de 300.000 toneladas de tais biocombustíveis, sendo que, quando esse limite é ultrapassado, fica sujeito à cobrança do mesmo imposto que incide sobre o óleo diesel (PENTEADO *et al.*, 2007).

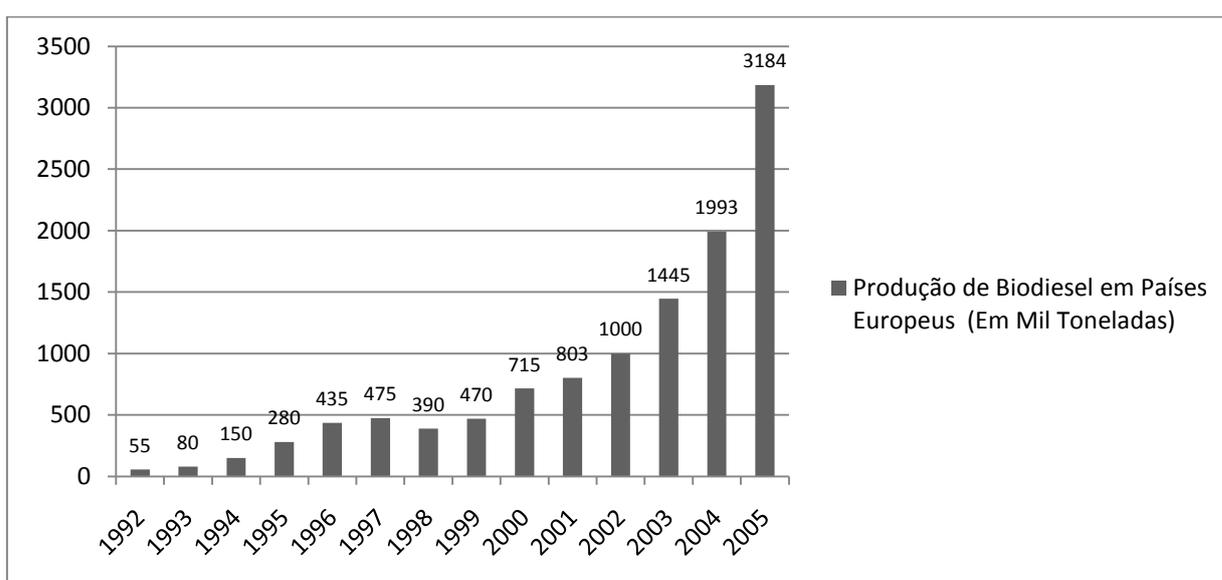
### 2.5.5 Espanha

Em 2004, a Espanha tinha uma capacidade de produção de biodiesel de 91 mil toneladas. Até o final de 2005, a Espanha atingiu uma capacidade de produção de 322 mil toneladas/ano, tendo um aumento superior a 250% em apenas um ano. A

Espanha deve aprovar o uso compulsório do biocombustível numa proporção de 5,75% em 2010. Em 2006, as quatro usinas de bioetanol e as 12 de biodiesel produziram 446 mil toneladas de combustível, enquanto o consumo doméstico foi apenas de 242 mil toneladas. Destaca-se também o fato de que dezenas de novas usinas estão sendo projetadas e construídas (BIODIESEL BR, 2007).

### 2.5.6 Reino Unido

A produção de biodiesel na Inglaterra também tende a usar a canola como matéria prima, a qual é cultivada em uma grande quantidade de fazendas. A primeira grande fábrica de biodiesel, a Argent Energy, na Escócia, produz 50 milhões de litros por ano, misturados na proporção de 5% ao diesel mineral. A empresa faz o biodiesel a partir de sebo e de óleo de cozinha usados, ambos hoje subprodutos de outras indústrias, sendo rara a sua utilização alternativa. Muitos supermercados britânicos estão liderando a distribuição de biodiesel por meio da implantação de seus próprios postos de reabastecimento (VIEIRA, 2009). É possível observar as diferenças na produção dos países europeus expostas na Figura 2.



Fonte: EurObserv'ER

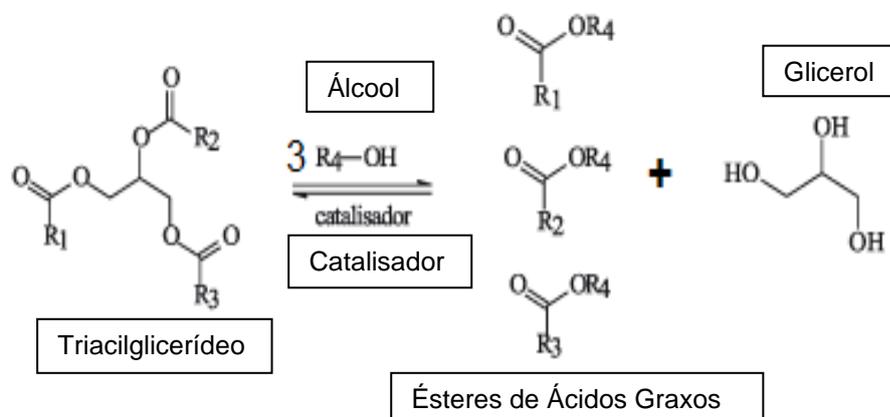
**Figura 2- Produção de biodiesel nos países da Europa em mil toneladas.**

## 2.6 O biodiesel e suas propriedades

### 2.6.1 Conceito de biodiesel

Sabe-se que o Brasil, apesar de todo o potencial que ostenta no campo da geração de energias alternativas, infelizmente na prática, ainda não pode figurar como referência na produção de biodiesel. Tal afirmação é embasada pela descontinuidade de ideias dos programas político sociais gerados pelo governo, os quais acabam, por muitas vezes, figurando como ineficientes ou no mínimo deficientes. Todavia, o país pode orgulhar-se do trabalho exercido por seus pesquisadores na geração abundante de informações de grande valia, constantes na vasta bibliografia disponível. Assim, ao público leigo acerca desta temática, deve-se destacar inicialmente a primeira grande diferença entre o combustível denominado biodiesel em relação aos óleos vegetais puros: a ausência da glicerina no primeiro composto citado.

Segundo Parente (2003), denomina-se biodiesel o combustível renovável e biodegradável, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos a partir da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, normalmente o metanol ou o etanol. Lima Neto *et al.* (2006), sugere que o processo de transesterificação consiste na reação química de triglicerídeos com um dos alcoois citados anteriormente, na presença de um agente catalisador, gerando-se assim um composto éster-glicerina. Ao final, a glicerina, subproduto da reação, deve ser separada do combustível gerado, e pode-se utilizar para tal o processo de decantação. Assim, tal processo pode ser definido como a separação da glicerina e do óleo vegetal utilizado, acarretando em possíveis benefícios do seu uso em motores de ciclo Diesel, quando comparado ao uso do óleo vegetal *in natura*. Todavia, este processo pode apresentar alguns inconvenientes como o fato de que a separação do glicerol pode ser demorada, e também a exigência de que os óleos utilizados apresentem baixos teores de ácidos graxos livres (inferior a 1%). A Figura 3 ilustra a reação química ocasionada durante o processo de transesterificação.



Fonte: Adaptado de Suarez et al.(2007).

**Figura 3- Reação química de transesterificação.**

Meirelles (2003), afirma que, tecnicamente, o biodiesel pode ser definido como um éster alquílico de ácidos graxos, o qual é obtido através do processo químico de transesterificação de um triglicerídeo com um álcool de cadeia curta. Este processo consiste na reação química de um óleo vegetal ou animal com um álcool, sempre na presença de um catalisador ácido (HCl) ou básico (NaOH). São gerados, como produtos, a glicerina e o éster metílico ou etílico, de acordo com o álcool utilizado.

### 2.6.2 A utilização do álcool metílico e do álcool etílico

O Biodiesel utilizado em alguns países da Europa e também nos Estados Unidos é basicamente constituído de ésteres metílicos oriundos da rota metílica de transesterificação. Para Antolín *et al.* (2002), os ésteres metílicos tem balanço de energia positivo, ou seja, o consumo total de energia durante o seu processo de produção é menor que o conteúdo de energia que o combustível produz durante o seu processo de queima. Segundo Candeia (2008), a preferência dessa rota em relação à etílica está associada a dois fatores, que são:

- Econômicos: visto que o metanol é mais acessível financeiramente em relação ao etanol anidro;

- Processo de obtenção: o metanol possui uma cadeia mais curta, além de apresentar uma maior polaridade, facilitando o processo de separação entre os ésteres e a glicerina. Já o etanol, dispõe de uma cadeia relativamente maior que a do metanol, acarretando em uma maior miscibilidade de tais ésteres na glicerina, prejudicando o processo de separação das fases. Todavia, por possuírem um carbono a mais na molécula, os ésteres etílicos proporcionariam a elevação do número de cetano, tornando melhor o processo de combustão nos motores de ciclo Diesel. Por sua vez, o metanol (álcool metílico) em sua grande parte é proveniente de fontes fósseis, por meio de gás de síntese a partir do metano, e em menores quantidades pode ser processado por destilação seca da madeira. No entanto, ressalta-se que o metanol tem uma toxicidade muito elevada, trazendo malefícios à saúde tais como a cegueira e o câncer. Já o etanol (álcool etílico) apresenta a vantagem de não ser tóxico, ser biodegradável e ser produzido a partir de fontes renováveis.

O Brasil apresenta uma suntuosa propensão à utilização do etanol ao invés do metanol no processo de geração do biodiesel, devido à auto suficiência em etanol, alcançada graças a grande área disponível para a produção de cana de açúcar e oleaginosas. A oferta do etanol é cerca de 30 vezes maior que a de metanol, além da grande vantagem de ser oriundo de biomassa, o que representa maior potencial de redução de emissão de gases do efeito estufa e desenvolvimento social. Sobretudo, o Brasil possui ainda a vantagem de reter recursos econômicos no país com a produção de etanol e do biodiesel (PENTEADO *et al.*, 2007).

### 2.6.3 Viscosidade

Conforme Knothe (2006), a viscosidade é a medida da resistência à vazão de um líquido, associada à fricção ou atrito interno de uma parte do fluido que escoar sobre outras. Ela pode afetar a atomização do combustível na câmara de combustão e a formação de depósitos de carbono no motor. A viscosidade é uma importante característica inerente ao combustível utilizado, acarretando em consequências que incidem diretamente em um dos principais componentes do sistema de alimentação de um motor de ciclo Diesel, a bomba injetora. Assim, deve-se preconizar que um

determinado combustível tenha valores de viscosidade apropriados aos projetos de motores disponíveis, ou seja, não apresente valores muito elevados e tão pouco apresente valores demasiadamente baixos.

Segundo Machado (2008), um combustível viscoso em demasia aumenta as perdas decorrentes do bombeamento na bomba injetora e nos bicos injetores, acarretando em uma pulverização vista como deficiente e que afeta o processo de combustão. Todavia, uma grande redução da viscosidade pode resultar no incremento das perdas internas do sistema injetor (vazamentos), resultando em problemas inerentes ao volume de combustível liberado.

Leontsinis (1988), salienta o fato de que a viscosidade dos combustíveis apropriados ao uso em motores de ciclo Diesel é um requisito de suma importância, devido o seu efeito direto sobre o desempenho do sistema bomba/injetor. Segundo Van Gerpen (2006), nos sistemas de injeção diesel mais utilizados, o combustível a ser injetado no cilindro é comprimido por uma bomba de elementos em cilindros (sistema Bosch). Tais elementos apresentam pequenas folgas entre eles e os cilindros, no entanto, uma suntuosa quantidade de combustível consegue vazar a estas folgas durante o processo de compressão do combustível. Assim, pode-se deduzir que viscosidades baixas tornam mais significativos os vazamentos entre as folgas, gerando, como consequência, a redução da potência promovida pelo motor. Por outro lado, altas viscosidades tornam a bomba injetora incapaz de fornecer combustível suficiente para a câmara de bombeamento, acarretando em um efeito final similar ao apresentado anteriormente. A Tabela 2 relaciona as principais oleaginosas e demais matérias primas utilizadas na geração de biodiesel e suas respectivas viscosidades.

**Tabela 2- Diferentes tipos de ésteres e suas respectivas viscosidades**

<b>BIODIESEL</b>	<b>VISCOSIDADE (mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>) @ 40°C</b>
Éster metílico de soja	4,10
Éster etílico de soja	4,55
Éster metílico de algodão	4,20
Éster metílico de girassol	4,30
Éster metílico de mamona	11,30
Éster etílico de gordura animal	5,50

Fonte: Adaptado de Bueno (2007).

Segundo Machado (2008), a faixa de viscosidade apresentada pelo biodiesel é superior à faixa apresentada pelo diesel de petróleo e, se a viscosidade é excessiva como nos óleos vegetais *in natura*, ocorre a degradação da pulverização do óleo no interior da câmara de combustão, reduzindo-se a eficiência de pulverização e de formação da mistura, promovendo a contaminação do óleo lubrificante e elevando a produção de fumaça preta expelida pelo sistema de escapamento.

#### 2.6.4 Número de Cetano

Segundo Reis (1999), o número de cetano (NC) é um valor adimensional que expressa a maior ou menor facilidade do óleo diesel entrar em ignição. Na gasolina, procura-se evitar a entrada em ignição espontânea em temperaturas ambientes ou até mesmo em baixas temperaturas, utilizando para tal compostos antidetonantes. Já nos combustíveis utilizados em motores de ciclo Diesel deseja-se que os mesmos entrem em ignição a menores temperaturas, proporcionando o processo de inflamação apenas pelo aquecimento do ar, gerado durante a compressão. Segundo Coopetróleo (2007), o número de cetano de um combustível é obtido através de um ensaio normalizado, em motor especial, onde se compara o seu retardo de ignição com o de uma mistura de combustíveis padrões, cujo número de cetano seja conhecido.

Conforme Van Gerpen (2006), os combustíveis com elevado número de cetano sofrerão pequenos retardos de ignição, sendo que pequenas quantidades de combustível estarão presentes na fase de combustão em pré-mistura, em função do reduzido tempo de preparo da mistura para a combustão. Boa parte dos biodieseis apresenta NC superiores aos do óleo diesel mineral, variando de acordo com as suas matérias primas de origem. Caso o biodiesel gerado seja oriundo de elementos saturados, este terá um número de cetano superior quando comparado a um biodiesel oriundo de elementos menos saturados. Assim, pode-se verificar que o biodiesel de soja apresenta um NC que se situa entre 48 e 52, enquanto que o

biodiesel de gordura animal, o qual apresenta um número mais elevado de ésteres saturados, apresenta um valor que varia entre 60 e 65.

É pertinente destacar que valores de número de cetano devem manter-se em níveis adequados, sob pena de causarem algum descompasso operacional durante o processo de queima em um motor de ciclo Diesel. Knothe (2006), menciona que em combustíveis com elevado número de cetano a combustão pode ocorrer no período que antecede o final da mistura entre combustível e ar, acarretando em um processo incompleto de combustão. Em contraponto, combustíveis com número de cetano demasiadamente baixos provocam falhas durante o funcionamento do motor. Segundo Parente (2003), o número de cetano médio atribuído ao biodiesel aproxima-se de 60, sendo que o diesel de origem mineral apresenta valores que situam-se entre 47 e 52, o que gera indícios de melhor queima do biodiesel em motores de ciclo Diesel.

#### 2.6.5 Densidade

Em relação à densidade, deve-se salientar a estreita relação existente entre esta e o poder calorífico de um combustível, visto que maiores valores de densidade pressupõem maiores valores de poder calorífico. Altas densidades podem acarretar em um aumento de material particulado enquanto densidades menores podem causar perda de desempenho (BOSCH, 2005). Segundo Van Gerpen (2006), valores mais elevados de densidade podem compensar, em parte, menores valores de conteúdo energético por unidade de massa para um dado combustível. Assim, sabendo-se que o sistema injetor (bomba injetora) trabalha com dosagens de volume, combustíveis com baixo conteúdo energético para uma mesma unidade de volume podem provocar uma queda nos valores de potência gerados.

As afirmações de Antolín *et al.* (2002), complementam o que já fora mencionado anteriormente, pois o referido autor menciona que o poder calorífico do biodiesel é 12% menor que o do diesel fóssil, no entanto, tal prejuízo é parcialmente compensado pelos maiores valores de densidade, resultando em um saldo final de perdas que se situam na ordem dos 6%.

### 2.6.6 Poder calorífico

Segundo Obert (1971), o calor de combustão de um combustível pode ser definido como a quantidade de calor liberado durante um dado processo de combustão completa. Para Knothe (2006), não só o número de cetano determina a capacidade de queima de um dado combustível, sendo que o calor de combustão é uma propriedade que demonstra a adequação dos vários tipos de compostos graxos para uso como combustível em motores diesel. O calor de combustão contido nos óleos vegetais e nos seus respectivos ésteres alquílicos corresponde a cerca de 90% do valor observado no óleo diesel de origem mineral.

## 2.7 Diferenças entre motores de injeção direta e indireta

Nos motores de injeção indireta tem-se a presença de uma câmara de pré combustão ou antecâmara, sendo que há uma divisão da câmara de combustão em duas partes que se comunicam por meio de pequenas passagens. Assim, o combustível é injetado na parte menor (antecâmara), a qual suporta no máximo 1/3 do volume total, formando assim uma mistura que ao queimar é expelida para a câmara de combustão propriamente dita. Esse processo gera um aumento gradativo da pressão de combustão, tornando os motores menos ruidosos e com funcionamento mais suave em altas rotações, no entanto, esses motores são, em geral, menos econômicos e de menor torque, além de apresentarem dificuldades na partida em clima frio (REIS *et al.*, 1999).

Os motores de injeção direta se caracterizam por exercerem a injeção diretamente sobre a massa de ar comprimido na câmara de combustão, fato que provoca uma elevação brusca na pressão em decorrência da combustão do combustível. Este método de injeção provoca uma elevação na vibração do motor e nos níveis de ruído, todavia, destaca-se pelo aumento do torque, maior economia e facilidade de partida (REIS *et al.*, 1999).

É importante salientar que os motores de injeção indireta são menos exigentes quanto à injeção, podendo utilizar pressões inferiores e injetores de

orifícios únicos e de maiores dimensões, sendo que os motores de injeção direta produzem menor movimentação de ar no cilindro e utilizam altas pressões de injeção e injetores com orifícios múltiplos para compensar a baixa turbulência do ar. Destaca-se o fato de que vários estudos apontam que a utilização de motores de injeção indireta seria mais indicada em casos de utilização de combustíveis relativamente mais viscosos, no entanto, tais motores não são de comum utilização em tratores e colhedoras agrícolas.

## **2.8 O ponto de avanço da injeção**

Segundo Imperial (1996), o avanço da injeção contempla um breve momento que antecede a chegada do pistão ao ponto morto superior (PMS). Boulanger *et al.* (1978), já mencionava que este avanço no momento inicial de injeção deve-se a uma série de inconvenientes, tais como atrasos mecânicos e químicos (inflamação).

Segundo Kegl (2008), recomenda-se, para a utilização de biocombustíveis oxigenados, pontos de injeção atrasados em relação ao original, para que se obtenham os melhores resultados em termos de consumo específico de combustível e de emissões de NOx. Este fato pode ser atribuído às diferenças inerentes ao número de cetano apresentada pelos biocombustíveis (maiores números de cetano).

Ao passo que devam ser consideradas as diferenças intrínsecas à facilidade de combustão apresentada por um dado combustível, pode-se presumir que, em contraponto aos estudos que indicam a viabilidade na utilização de pontos de avanço iniciais atrasados em relação à configuração original, possa se lançar mão do uso de pontos de avanço de injeção mais adiantados para combustíveis que venham a apresentar números de cetano mais baixos. A Tabela 3 ilustra uma análise comparativa entre valores médios apresentados pelo biodiesel e pelo diesel de origem mineral.

**Tabela 3- Propriedades inerentes a combustíveis oriundos de diferentes meios**  
**PROPRIEDADES DO BIODIESEL E DO ÓLEO DIESEL**

PROPRIEDADE	BIODIESEL	ÓLEO DIESEL
Calor de Combustão (Mj/kg)	40,5	45,2
Ponto de Inflamabilidade (°C)	124	82
Ponto de Névoa (°C)	-2	-14
Ponto de Orvalho (°C)	-10	-21
Viscosidade (cS a 40 °C)	6,17	2,98
Número de Cetano	59,7	49,2

Fonte: Phoenix Chemical Lab & University of Idaho

Em contraponto às informações contidas na tabela anterior, percebe-se que os atuais processos de obtenção de biodiesel, principalmente oriundos da transesterificação de óleos vegetais de soja puros podem gerar biocombustíveis com características semelhantes às apresentadas pelo diesel B5 (5% de biodiesel adicionado ao diesel de origem mineral) comercializado sob esta proporção desde o mês de Janeiro de 2010.

Machado (2008), concluiu em seus trabalhos utilizando a variação do ponto de avanço de injeção para ésteres combustíveis, que todos os ésteres com número de cetano superior ao apresentado pelo óleo diesel B2 (2% de biodiesel adicionado ao diesel de origem mineral) responderam aos ajustes de atraso do ponto de avanço inicial de injeção. O éster etílico de sebo bovino e a mistura de ésteres foram os tratamentos que melhor aceitaram as modificações de avanço de injeção, uma vez que foram os tratamentos que apresentaram os maiores valores de número de cetano, indicando uma maior facilidade de queima, justificando assim a utilização deste recurso.

## **2.9 A utilização de aditivos químicos em combustíveis**

Reis *et al.* (1999), destacam que a maior parte dos aditivos atualmente comercializados são destinados a aplicações nos óleos lubrificantes, sendo que estes cumprem diferentes funções. Esse mesmo autor salienta que tais aditivos

podem ser basicamente classificados: antioxidantes; anticorrosivos; detergentes; dispersantes; antiespumantes; inibidores de ferrugem e agentes antidesgaste.

Referente à utilização de aditivos aplicados diretamente em mistura ao combustível em motores de ciclo Diesel, vários autores destacam que o próprio biodiesel pode ser utilizado como aditivo em combustíveis de origem mineral objetivando melhorias nos parâmetros de queima (número de cetano) e viscosidade. Segundo Ejim *et al.* (2007), as misturas binárias que contenham elevadas proporções de óleo diesel mineral podem acarretar em redução da viscosidade, da densidade e da tensão superficial do biocombustível adicionado, proporcionando-lhe características de atomização adequadas para um motor diesel. Logo, o biodiesel pode ser considerado um aditivo para o diesel mineral, uma vez que pode desempenhar o papel do enxofre e garantir a lubricidade necessária do combustível na bomba injetora. Segundo Sala (2008), o biodiesel pode viabilizar a utilização de um combustível diesel com baixíssimos teores de enxofre. As propriedades lubrificantes do óleo diesel são importantes para os equipamentos de injeção do combustível, tais como injetores e bombas, pois combustíveis de baixa lubricidade aumentam o desgaste e reduzem a vida útil dos componentes.

Segundo Toboldt (1980), vários são os tipos de aditivos passíveis de uso em combustíveis utilizados nos motores de ciclo Diesel. Dentre estes, pode-se citar os aditivos responsáveis pela redução das emissões de particulados (fumaça) e pela otimização do processo de combustão e dos parâmetros de consumo de um determinado combustível. Logo, deduz-se que os aditivos comercialmente disponibilizados para mistura em diesel mineral podem desempenhar semelhante papel em biocombustíveis com propriedades semelhantes às apresentadas pelo diesel de origem mineral.

## **3 MATERIAL E METODOLOGIA**

### **3.1 Considerações Iniciais**

O desempenho do motor diesel de um trator agrícola pode ser conhecido através de ensaios dinamométricos, obtendo-se desta forma valores de desempenho, normalmente expressos na forma de gráfico para uma melhor visualização dos dados obtidos. Para a obtenção destes resultados foram utilizadas diferentes proporções de mistura entre o biodiesel de óleo de soja e o diesel de origem mineral, buscando-se efetuar variações inerentes à adição de aditivos químicos a estes combustíveis. Também foram analisados os parâmetros de desempenho do motor, anteriormente citados, segundo a variação dos pontos de avanço de injeção da bomba injetora que alimenta este sistema.

A operacionalização do procedimento de ensaio foi bastante simples. Acoplou-se a extensão do eixo cardânico presente no dinamômetro à tomada de potência do trator (TDP), tomando-se os devidos cuidados para que a inclinação desse eixo fosse nula ou mínima. A tarefa de nivelamento pode ser facilmente realizada por meio do uso de pranchões de madeira posicionados sob as rodas do trator ensaiado. A norma utilizada para o balizamento dos ensaios foi a NBR ISO 1585 (2006) que define os procedimentos a serem seguidos para realização dos ensaios em tratores agrícolas.

### **3.2 Local do experimento**

Os procedimentos referentes aos ensaios e avaliações dos parâmetros de rendimento motor foram realizados no Laboratório de Agrotecnologia - Agrotec, localizado no Campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, RS, sendo parte integrante do Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas – NEMA (coordenadas geográficas 29° e 43' de Latitude Sul e 53° e 43' de Longitude

Oeste). Este laboratório dispõe de uma completa infraestrutura, contando com laboratórios de motores, tratores de uso agrícola, ferramental para os procedimentos de regulagem de motores e uma bancada dinamométrica apta à realização dos ensaios.

### **3.3 Bancada dinamométrica**

O dinamômetro consiste em um dispositivo que tem por função a geração de uma carga resistente para o motor utilizado. A execução do trabalho baseia-se em ensaios de laboratório, com rigor avaliativo, utilizando para tal uma bancada dinamométrica como instrumento principal na geração dos dados necessários. Obert (1971) define que a medição de potência, trabalho executado na unidade de tempo, tem importância fundamental na análise do desempenho de um motor. Para determiná-la utilizam-se freios de diferente natureza, que são reconhecidos como “dinamômetros”. Assim, a escolha do tipo de dinamômetro depende da finalidade a que se destina tal equipamento. Se a capacidade de absorção de potência for o fator preponderante, o dinamômetro de correntes parasitas ou correntes de Foucault (elétrico) ou de Froude e/ou Vane (hidráulicos) devem ser definidos como preferenciais (MACHADO, 2007).

Foi utilizado um dinamômetro elétrico de correntes parasitas (Correntes de Foucault), marca MWD modelo NL 480 para a realização dos ensaios e avaliações de desempenho do motor. As características técnicas deste dinamômetro são apresentadas no Quadro 2. Tal equipamento é constituído de um rotor acionado pela máquina em prova, girando imerso em campo magnético, sendo que a intensidade do campo é controlada através de uma bobina alimentada por corrente contínua, podendo-se assim, variar a carga aplicada. O mecanismo absorve a potência de saída de um motor qualquer que esteja acoplado ao dinamômetro, de maneira que uma tensão elétrica é responsável pela absorção da energia mecânica, e um fluxo de água exerce a função de extração e dissipação do calor gerado no decorrer do processo. A Figura 4 ilustra o modelo de dinamômetro utilizado.

ESPECIFICAÇÕES DO DINAMÔMETRO	
Potência Máxima Contínua	750 cv
Potência Máxima Intermitente	850 cv
Rotação máxima	3600 rpm
Torque máximo	300 kgm a 1700 rpm
Peso aproximado	1500 kg

Fonte: MWD-Argentina

Quadro 2- Especificações do dinamômetro MWD NL 480



Figura 4- Dinamômetro de correntes parasitas utilizado nos ensaios.

Este dinamômetro utiliza a energia elétrica como fonte de alimentação para a realização do processo de frenagem, todavia, a função desta fonte de energia é proporcionar a geração de um campo magnético de intensidade variável, capaz de realizar a frenagem da máquina em prova. Bobinas de excitação são controladas pela intensidade da corrente contínua que as alimenta, podendo-se assim controlar a intensidade da carga aplicada. Já o rotor, acionado pela máquina em prova, gira livremente até que, por meio das bobinas de excitação, se aumente a intensidade do fluxo magnético, acarretando em redução da velocidade de giro do mesmo. Todo o esforço gerado no rotor é transmitido à carcaça do dinamômetro, e a variação de movimento da carcaça é que permite determinar a magnitude do torque registrado.

Cabe ressaltar que este tipo de dinamômetro necessita de um circuito de arrefecimento por água com o intuito de dissipar o calor gerado pelo processo.

O acoplamento é feito diretamente à tomada de potência do trator, por isso é necessário que seja determinada a relação de transmissão e se conheçam as perdas decorrentes de cada tipo de transmissão. A aquisição dos dados é feita de forma automática e contínua através da utilização do Software Accudyno<sup>®</sup>, representado na Figura 5.

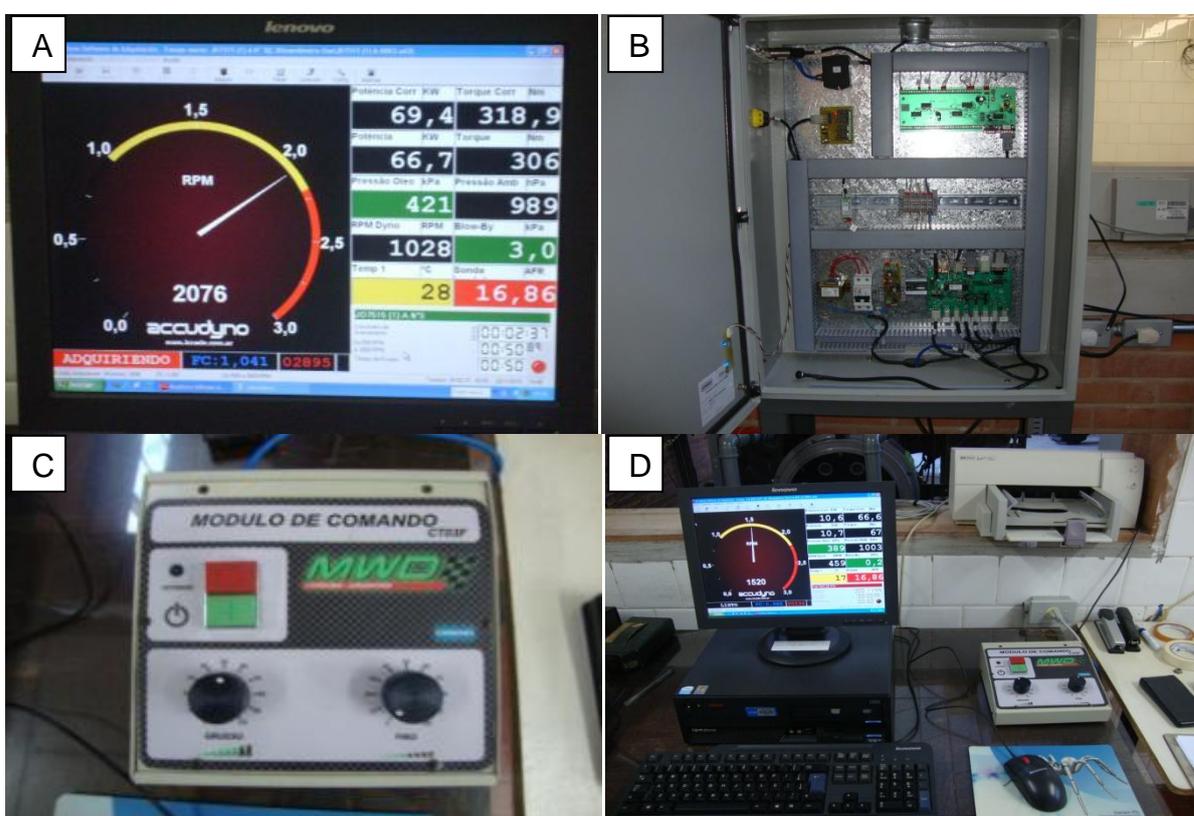


Figura 5- A) Tela principal de registro dos dados pelo Software Accudyno<sup>®</sup>; (B) Central de aquisição de dados do dinamômetro; (C) Módulo de operação de carga fornecida pelo dinamômetro; (D) Vista geral do computador utilizado e do módulo de operação.

O tempo de coleta do sistema de aquisição de dados foi a cada um segundo, e de forma automática pelo software responsável pela aquisição de dados. A metodologia de aquisição de dados utilizada na realização dos ensaios consiste em um procedimento contínuo onde o acelerador manual do trator é posicionado na posição que fornece a máxima rotação do motor. Em seguida, são aplicadas cargas crescentes, as quais acarretam em consequente frenagem da TDP, ponto

responsável pela transmissão direta do torque, da rotação e da potência gerados pelo motor do trator. Tais cargas acarretam em uma queda constante da rotação, fornecendo os dados que irão compor as chamadas curvas de desempenho dentro da faixa de rotação pré determinada pelo operador.

### 3.4 O trator utilizado

Foi utilizado um trator da marca Massey Ferguson, 4x2, modelo MF 275, o qual apresentava-se equipado com um motor de injeção direta de combustível, marca Perkins, modelo 4000, com quatro cilindros, do qual pode-se visualizar maiores especificações no Quadro 3.

ESPECIFICAÇÕES DO MOTOR	
Marca	Perkins
Modelo	4000
Número de cilindros	4
Cilindrada (cm <sup>3</sup> )	4100
Aspiração	Natural
Potência na rotação nominal (kw)	56
Potência máxima na TDP (kw)	49
Torque máximo @ 1400 rpm (Nm)	289
Rotação nominal (rpm)	2200

Fonte: Massey Ferguson do Brasil

**Quadro 3- Especificações do motor que equipa o trator utilizado**

A utilização deste trator deu-se por meio do acoplamento do mesmo ao mecanismo de frenagem (dinamômetro) anteriormente descrito, por meio de um eixo cardânico ligado à tomada de potência do trator (TDP). Assim, obteve-se como produto final a geração dos dados referentes às alterações promovidas nos parâmetros de rendimento do motor, tais como torque, potência e consumo horário e específico de combustível sob a utilização dos biocombustíveis previamente

selecionados, aditivados ou não, e sob as diferentes configurações do ponto de avanço da injeção da bomba injetora que alimenta o sistema.

A Figura 6 mostra o trator utilizado na condução dos experimentos, devidamente acoplado ao dinamômetro responsável pela geração das cargas de frenagem.



**Figura 6- Trator MF 275 acoplado ao dinamômetro de correntes parasitas NL 480.**

Como pode ser constatado na ilustração anteriormente destacada, o trator utilizado já contava com uma quantidade considerável de horas de trabalho, ao redor de 3000 horas. Como a fabricação do modelo datava do ano de 1986, salienta-se que a potência máxima obtida em ensaios preliminares não ultrapassou os 68 cv de potência (50kW).

### 3.5 Os combustíveis e os aditivos utilizados

Para a realização dos procedimentos de ensaio foram utilizadas diferentes proporções de mistura variando a quantidade de biodiesel metílico de óleo de soja (B100) adicionada ao diesel comercial B5, o qual é comercializado nos postos de abastecimento, sob esta proporção, desde o mês de Janeiro de 2010.

#### 3.5.1 O diesel B5

É recente a utilização desta proporção de mistura (B5) entre biodiesel e diesel de origem fóssil, todavia, ainda situa-se abaixo das proporções passíveis de uso para a maioria dos tratores agrícolas atualmente desenvolvidos. Estudos relatam que misturas envolvendo esses combustíveis, nas quais constem pequenas proporções de biodiesel (até 5%) não acarretam em disparidades inerentes ao funcionamento de um motor de ciclo Diesel. O Quadro 4 lista as principais características do óleo diesel utilizado nos testes. Quanto à densidade do diesel mineral (B5), esta foi obtida a partir dos valores médios de três repetições, obtidos após a pesagem, em uma balança de precisão, representada pela Figura 7.

Característica	Unidade	Valores
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas
Teor de biodiesel	% vol	5
Enxofre total máximo	mg/kg	500
Massa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	820 a 865
Ponto de fulgor mínimo	°C	38
Viscosidade a 40°C (máxima)	cSt	2 a 5
Número de cetano mínimo	-	42

Fonte: ANP (2010).

**Quadro 4- Principais características do diesel mineral utilizado**



Figura 7- Procedimento de pesagem para determinação da densidade do óleo diesel.

### 3.5.2 O biodiesel metílico de soja e as misturas binárias

O procedimento de obtenção das diferentes proporções de mistura utilizadas nos experimentos deu-se a partir de amostras de biodiesel metílico de óleo de soja, fornecidas pela empresa BS BIOS Indústria e Comércio de Biodiesel Sul Brasil S/A, unidade de Passo Fundo, RS, certificada pela ANP como fornecedora para os leilões realizados pelo governo, visando à adição de 5% de biodiesel ao diesel mineral. As informações referentes ao biodiesel utilizado constam no Quadro 5.

Item analítico	Unidade	Resultado	Especificação <sup>(1)</sup>	Métodos (Normas)
Aspecto a 20°C	-	Isento de impurezas	Isento de impurezas	Visual
Massa Específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	881,3	850-900	ASTM D 4052
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	4,083	3,0-6,0	ASTM D 445
Número de Cetano	-	44,0	-	-
Teor de Água	mg/kg	96,4	Máximo 500	ASTM D 6304
Contaminação Total	mg/kg	1,37	Máximo 24	EN 12662
Ponto de Fulgor	°C	128	Mínimo 100,0	ASTM D 93
Teor de Éster	% massa	97,2	Mínimo 96,5	EN 14103
Resíduo de Carbono (100% da amostra)	% massa	0,0030	Máximo 0,050	ASTM D 4530
Enxofre Total <sup>(2)</sup>	mg/kg	0,4	Máximo 50	ASTM D 5453
Sódio + Potássio	mg/kg	0,507	Máximo 5	EN 14538
Cálcio + Magnésio	mg/kg	0,011	Máximo 5	EN 14538
Índice de Acidez	mg KOH/g	0,354	Máximo 0,50	ASTM D 664
Glicerina Total	% massa	0,208	Máximo 0,25	ASTM D 6584
Monoglicerídeos	% massa	0,633	Anotar	ASTM D 6584
Diglicerídeos	% massa	0,181	Anotar	ASTM D 6584
Triglicerídeos	% massa	0,089	Anotar	ASTM D 6584
Metanol <sup>(3)</sup>	% massa	< 0,05	Máximo 0,20	EN 14110
Índice de Iodo	g/100g	132,39	Anotar	EN 14111
Estabilidade à Oxidação a 110°C	Horas	11,53	Mínimo 6	EN 14112

Conforme Resolução Nº 7, de 19.03.2008 – DOU 20.03.2008.

Análise realizada no Laboratório de Combustíveis da UFRGS – Porto Alegre/RS.

Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.

Fonte: BS BIOS.

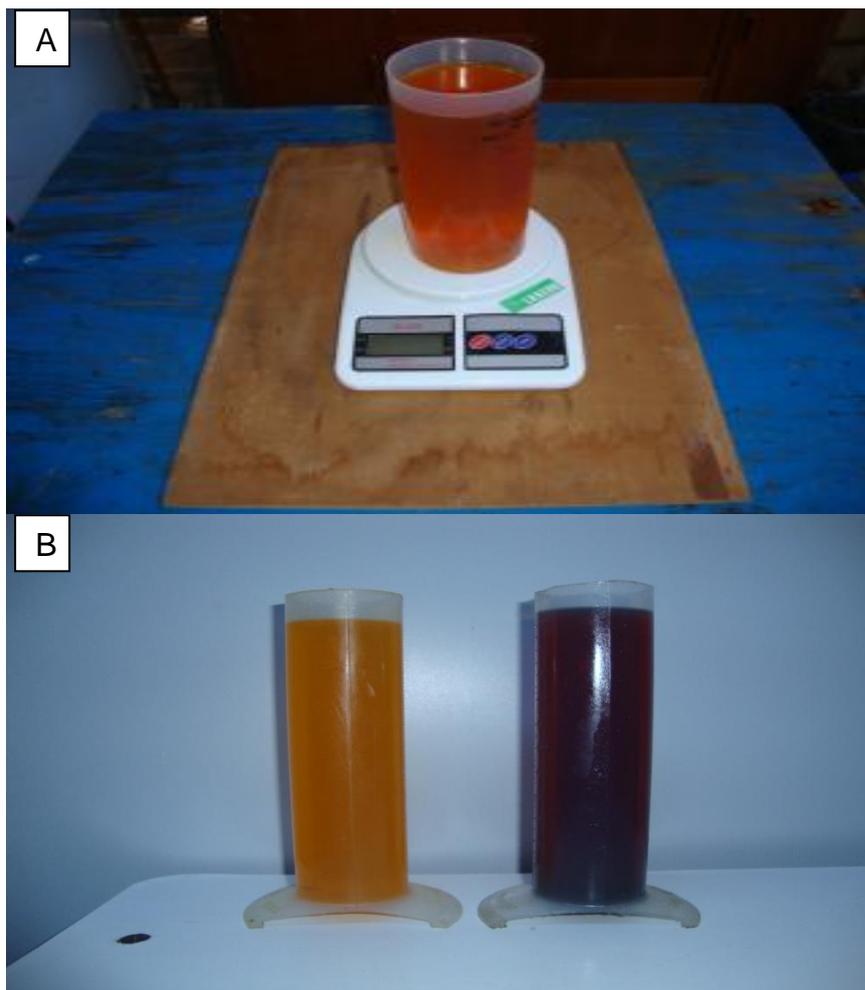
#### **Quadro 5- Propriedades do biodiesel metílico de soja utilizado nos ensaios**

Quanto às misturas, optou-se pela realização de ensaios envolvendo sete diferentes proporções, sendo uma delas o próprio diesel comercial (B5). O Quadro 6 identifica todas as proporções de mistura utilizadas.

DENOMINAÇÃO	COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA	DENSIDADE (g/L)
B5	Óleo diesel mineral com 5% de biodiesel etílico de soja	0,821
B10	Óleo diesel mineral com 10% de biodiesel etílico de soja	0,824
B20	Óleo diesel mineral com 20% de biodiesel etílico de soja	0,826
B30	Óleo diesel mineral com 30% de biodiesel etílico de soja	0,830
B50	Óleo diesel mineral com 50% de biodiesel etílico de soja	0,841
B70	Óleo diesel mineral com 70% de biodiesel etílico de soja	0,853
B100	Óleo diesel mineral com 100% de biodiesel etílico de soja	0,875

**Quadro 6- Diferentes proporções de mistura utilizadas nos ensaios**

Cabe ressaltar que as misturas eram adequadamente homogêneas em recipientes com capacidade máxima de sete litros. As proporções foram medidas com o auxílio de duas provetas graduadas com capacidade de 200 ml cada e um copo graduado com capacidade para um litro. Também foi contabilizada a proporção inicial contida no diesel comercial, que era de 5% de biodiesel, durante a realização do restante das misturas. Após realizado o procedimento de homogeneização, as amostras eram submetidas ao processo de pesagem para determinação da densidade. Durante os procedimentos de troca de tratamentos para a continuidade dos ensaios, o motor funcionava por um período não inferior a 30 minutos para as diferentes proporções de mistura, antes que fossem efetivamente coletados os dados. Assim tornava-se possível a queima de resíduos da mistura anteriormente ensaiada, colaborando também para a manutenção da faixa de temperatura de funcionamento do motor. A Figura 8 ilustra o processo de pesagem e as diferenças visuais entre as amostras de diesel comercial e biodiesel metílico de soja.



**Figura 8- Pesagem do biodiesel para determinação da densidade (A); e diferenças visuais entre o diesel comercial (à direita) e o biodiesel metílico de óleo de soja (à esquerda) (B).**

### 3.5.3 O aditivo químico utilizado

Objetivou-se também avaliar as possíveis alterações nos valores de torque, potência e consumo específico de combustível, sob a utilização de aditivos que, segundo informações fornecidas pelo fabricante, proporcionam melhorias no desempenho de motores de ciclo Diesel. O SC Diesel Fuel Injector Cleaner consiste em um tratamento multifuncional para motores Diesel. Tal aditivo é indicado para a limpeza do sistema de combustível, tanto de motores dotados de bomba injetora como eletrônicos. O tratamento recomendado pelo fabricante é de 1 litro para até 120 litros de combustível (diesel comercial, e/ou biodiesel) sendo realizados os cálculos para a adequação das dosagens às proporções de combustível utilizadas. A

motivação para a realização de avaliações utilizando aditivos químicos atribuiu-se à necessidade de constatação de possíveis benefícios ao motor quando da aplicação deste recurso. O fabricante citava vantagens como: descarbonização do sistema de injeção; redução do consumo de combustível e da emissão de poluentes; diminuição de fumaça preta; recuperação da potência do motor; e auxílio nas partidas a frio. O Quadro 7 expressa as características físico químicas do composto utilizado.

ESPECIFICAÇÕES DO ADITIVO UTILIZADO	
Estado físico	Líquido
Cor	Incolor amarelado
Odor	Hidrocarboneto
Ponto de ebulição (760 mmHg)	183 °C
Ponto de fulgor	67°C
Ponto de Congelamento	Não divulgado
Pressão de vapor	Não divulgado
Densidade a 20°C	0,810 à 0,830 g/mL
Viscosidade a 40°C	9,4 mm <sup>2</sup> /s

Fonte: STP Petroplus

**Quadro 7- Propriedades físico químicas do aditivo utilizado**

### 3.6 Determinação do consumo de combustível

Os combustíveis utilizados foram colocados em um depósito graduado com capacidade para 5L, em comunicação direta com o sistema de injeção, sem que fosse necessária a passagem pelo sistema de filtragem. Para medida do consumo de combustível foi utilizado um fluxômetro da marca Oval M-III modelo LSF 41, composto por duas engrenagens. Uma delas possuía um ímã, o qual sensibilizava um sensor indutivo a cada volta (1ml de volume deslocado), gerando um pulso que era convertido e armazenado em uma central de aquisição de dados (*datalogger*). Quando se desejava obter um total de pulsos a cada 2 segundos, multiplicava-se por 30 (para transformar em minutos) e após novamente por 60 para transformar em horas. Tal procedimento é o mesmo que multiplicar por 1800 e após dividir por 1000

para transformar  $\text{ml.h}^{-1}$  em  $\text{L.h}^{-1}$ , ou seja, basta multiplicar o número de pulsos, em 2 segundos, por 1,8. Pode-se simplificar a explanação da seguinte forma:

$$Cs(\text{L.h}^{-1}) = \text{Pul} \times 1,8 \quad (1)$$

Onde:

Cs = consumo em  $\text{L.h}^{-1}$

Pul = pulsos gerados pelo fluxômetro a cada 2 segundos

Neste tipo de medição são utilizados dois sensores: um mede a quantidade de combustível que entra na bomba e o outro mede o retorno depois de passar pelos bicos injetores. A diferença indica o consumo de combustível. Todavia, devido ao fato de se contar com a disponibilidade de apenas um fluxômetro, procedeu-se com uma modificação no sistema de alimentação de combustível: o retorno do combustível oriundo da bomba injetora e dos bicos não retorna ao tanque, sendo conduzido para ser novamente bombeado através de uma ligação realizada após o fluxômetro. Desta maneira, esse combustível é forçado a ser consumido, não mais passando pelo fluxômetro. Com essa modificação, a pressão interna aumenta e faz com que o combustível acabe fazendo um caminho oposto em direção ao fluxômetro. O problema foi solucionado colocando-se uma válvula após o fluxômetro para impedir esse retorno.

É pertinente destacar que as medições foram realizadas para todas as faixas de rotação do motor utilizadas no decorrer do experimento, de maneira a permitir que fosse coletado um adequado número de pulsos dentro de cada faixa de rotação. Para garantir a correta identificação e a correspondência dos dados coletados e armazenados pelo *datalogger* com suas respectivas faixas de rotação, foram cronometrados os tempos de início e final de cada faixa de rotação. Já no que se refere ao fornecimento de combustível à bomba injetora, o mesmo era realizado com o auxílio de um recipiente graduado acoplado diretamente ao sistema de alimentação, fazendo com que o combustível deixasse de passar pelo sistema de filtragem do motor. Pode-se verificar a configuração do fluxômetro na Figura 9.

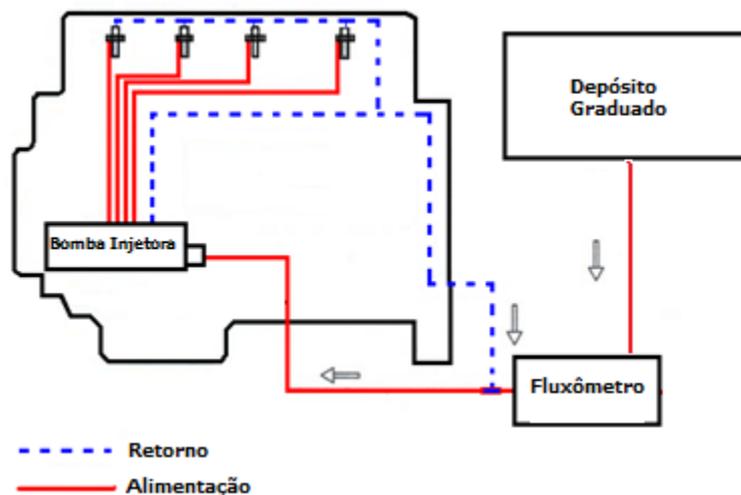


Figura 9- Esquema de instalação do fluxômetro.

Já a Figura 10 mostra o modelo do fluxômetro utilizado para a realização das medições de consumo horário (L/h), posteriormente transformado em consumo específico de combustível ( $\text{g/kW}\cdot\text{h}^{-1}$ ).



Figura 10- Fluxômetro utilizado nas medições de consumo horário de combustível (L/h).

### 3.7 Bomba injetora utilizada e o ponto de avanço de injeção

A bomba injetora, mecanismo responsável pela transferência do combustível em quantidades adequadas e momentos corretos nos motores de ciclo Diesel, foi uma bomba rotativa CAV Lucas. Este elemento é um dos pontos chave na condução dos ensaios, uma vez que, em virtude da composição e das propriedades físicas e químicas existentes nas misturas utilizadas, optou-se pela utilização de diferentes pontos de avanço de injeção, objetivando otimizar o funcionamento do motor sob o uso das diferentes proporções de mistura contendo biodiesel.

#### 3.7.1 Princípio de funcionamento da bomba injetora rotativa

Evidencia-se a necessidade de uma breve explanação acerca do sistema de funcionamento de bombas injetoras rotativas, para que se possa entender de forma mais clara as modificações necessárias à realização dos ajustes no ponto de avanço de injeção. Em linhas gerais, bombas injetoras rotativas apresentam apenas um elemento de bombeamento, que é constituído por um cilindro e um par de êmbolos, sendo que o mecanismo rotativo distribui o combustível a cada um dos cilindros do motor. Reis *et al.* (1999) explicam que ao passo que o conjunto gira, ocorre o alinhamento e posterior desalinhamento do canal de admissão com o canal do rotor, permitindo e interrompendo, respectivamente, a entrada de combustível na bomba injetora. Assim, quando o conjunto continua o movimento, ocorre um novo alinhamento, desta vez entre o orifício de distribuição e a tubulação que conduz o combustível, sob pressão, a um bico injetor, ao mesmo tempo em que o par de êmbolos comprime o volume de combustível que se encontra no interior da bomba injetora.

### 3.7.2 Ajustes realizados no ponto inicial de avanço de injeção

Estudos mostram que para combustíveis com números de cetano elevados recomenda-se o atraso do ponto de avanço da injeção, uma vez que, devido à facilidade de queima atribuída a tais combustíveis, o processo de combustão deve ocorrer em um momento ligeiramente atrasado para que se obtenha a correta queima do mesmo, acarretando em otimização no uso da potência e nos parâmetros de consumo para um motor de ciclo Diesel. Todavia, de posse dos dados referentes às propriedades do biodiesel e do diesel comercial utilizados, constatou-se que o número de cetano de ambos os combustíveis encontrava-se no mesmo patamar, e relativamente baixo. Desta forma, os ajustes realizados no ponto de avanço de injeção tiveram o intuito de avançá-lo em relação ao ponto inicial diagnosticado, em virtude das características dos combustíveis utilizados.

Para a realização do adiantamento do ponto inicial de avanço da injeção foram realizados os seguintes procedimentos:

- O pistão de número 1 do motor foi posicionado na posição de ponto morto superior (PMS), fato constatado pela medida da mínima distância do mesmo até o ponto de inserção do bico injetor, que fora retirado para que se efetuasse o procedimento de medição utilizando um paquímetro. Esta medição resultou no valor de 48 mm, o qual foi definido como ponto de referência, figurando como o ponto de avanço original deste motor. Salienta-se o fato de que este procedimento foi inicialmente conduzido em um motor montado em bancada, de mesmo modelo do motor que equipava o trator testado, resultando em valores idênticos para ambos os motores.
- Logo após, recuou-se o pistão para uma posição 3 mm abaixo da distância de referência obtida, que era de 48 mm, resultando em uma distância de 51 mm do ponto morto superior. Tal procedimento pode ser visualizado na Figura 11.



**Figura 11- Identificação do PMS referencial e do novo PMS (ponto de avanço da injeção adiantado).**

- Depois de realizados os procedimentos anteriormente descritos, foi alterado o posicionamento da bomba injetora responsável pelo fornecimento de combustível. A bomba injetora foi movimentada no sentido horário de giro, até o exato momento em que ocorreu o alinhamento entre o orifício de distribuição e a tubulação que conduzia o combustível, sob pressão, ao bico injetor. Salieta-se que esta tubulação encontrava-se desacoplada para que o alinhamento pudesse ser constatado, com o auxílio de uma haste metálica, com mesmo diâmetro do orifício. A Figura 12 exemplifica este procedimento.

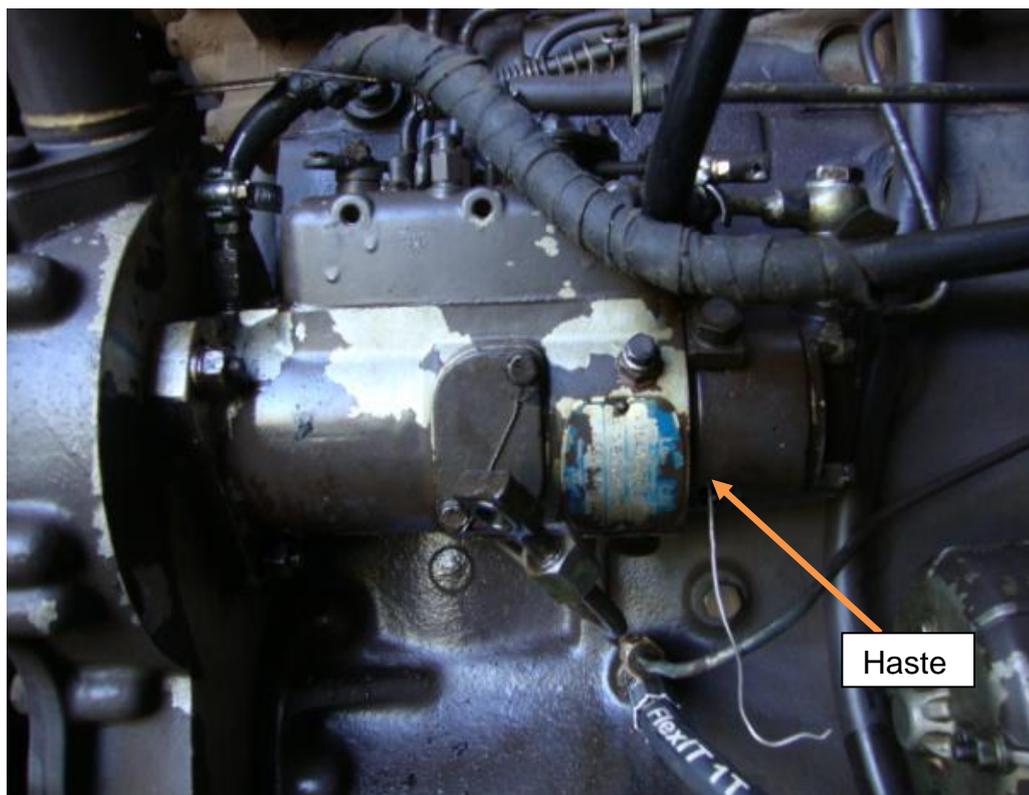


Figura 12- Haste metálica inserida no orifício de saída do combustível da bomba injetora para o bico injetor de combustível, caracterizando o alinhamento do orifício com a tubulação.

### 3.8 Ensaios em bancada dinamométrica conforme a Norma NBR ISO 1585 (2006)

O dinamômetro realiza somente a medida do torque produzido pelo motor em cada faixa de rotação, sendo a potência calculada a partir do torque e da rotação em que este é medido. Para obtenção do valor da potência utiliza-se a relação expressa na Equação 2.

$$P_e = \frac{T \times N}{9552,54} \quad (2)$$

Onde:  $P_e$  - Potência efetiva (kW)

T - Torque (Nm)

N - Rotações por minuto (rpm)

Em relação à potência do motor, segundo a Norma NBR ISO 1585 (2006) que apresenta correspondência com a Norma ABNT/NBR ISO 5484 (1985), utiliza-se um fator de correção que permite a comparação entre valores obtidos em diferentes condições de temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica. Assim, todos os valores obtidos devem ser multiplicados pelo fator de correção  $K_d$  que é definido pela Equação 3.

$$K_d = f_a^{f_m} \pi r^2 \quad (3)$$

Onde:  $K_d$  - Fator de redução para motores diesel

$f_a$  - Fator atmosférico

$f_m$  - Fator do motor

O fator atmosférico  $f_a$ , considera os efeitos das condições ambientais como temperatura, umidade e pressão do ar admitido no motor, conforme rege a ABNT 5484. O valor de  $f_a$  é determinado pela Equação 4.

$$f_a = \left(99/p_s\right) \times \left(t_{bs} + 273,15/298\right)^{0,7} \quad (4)$$

Onde:  $f_a$  - Fator atmosférico

$p_s$  - Pressão do ar seco

$t_{bs}$  - Temperatura de bulbo seco (°C)

Para a determinação da pressão de ar seco ( $p_s$ ), utiliza-se a Equação 5.

$$p_s = p_b - \frac{1}{7,5} \times \left[ e^{\left[21,106 - \left(\frac{5345,5}{t_{bu} + 273,15}\right)\right]} - \left(0,49 \times p_b \times \left(\frac{t_{bs} - t_{bu}}{100}\right)\right) \right] \quad (5)$$

Onde:  $p_s$  – pressão de ar seco (kPa)

$p_b$  – pressão barométrica (kPa)

tbs – temperatura de bulbo seco (°C)

tbu – temperatura de bulbo úmido (°C)

Salienta-se que o sistema de aquisição de dados que acompanha o modelo de dinamômetro utilizado realiza, automaticamente, a correção dos valores com base no registro momentâneo das condições do ambiente.

Para obtenção do consumo específico de combustível foi utilizada a relação determinada pela norma NBR 5484 (1985) da ABNT representada pela Equação 6.

$$C_s = \frac{C_h}{P_e} \quad (6)$$

Onde:  $C_s$  – Consumo específico ( $\text{g/kW.h}^{-1}$ )

$C_h$  – Consumo horário (g/h)

$P_e$  - Potência (kW)

### 3.9 Delineamento experimental e variáveis analisadas no experimento

O principal objetivo desta pesquisa teve-se à análise dos principais parâmetros de desempenho de um motor de ciclo Diesel. Sendo assim, este trabalho constituiu-se em um experimento trifatorial, onde visou-se obter, como variáveis resposta, nas diferentes faixas de rotação selecionadas, os seguintes parâmetros:

- Torque produzido pelo motor avaliado;
- Potência (calculada a partir do torque) produzida pelo motor;
- Consumo de combustível.

Os tratamentos utilizados para a realização do experimento, que constituíram as variáveis independentes do modelo matemático foram a conjugação dos seguintes fatores:

- Proporções de mistura de biodiesel (B5; B10; B20; B30; B50; B70; B100).
- Pontos de avanço de injeção (original e adiantado);
- Aditivos químicos (presente na mistura ou ausente).

Utilizou-se um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com três repetições para cada tratamento. A análise dos dados foi realizada com o auxílio do Software SOC, onde se procedeu inicialmente com a análise da variância, sendo que os fatores que apresentaram diferenças significativas tiveram suas médias analisadas pelo teste Tukey (5%).

### **3.10 Considerações finais do capítulo**

Ao final deste capítulo faz-se necessário realizar algumas considerações referentes aos procedimentos adotados objetivando, como resultado final, a adequada condução dos ensaios. O tempo total de trabalho do motor (contabilizando somente os tempos de ensaio e aquecimento) foi de aproximadamente 30 horas. Quanto ao biodiesel utilizado, o mesmo foi submetido aos ensaios dentro do prazo sugerido pela empresa fornecedora. Já no que tange às modificações inerentes ao ponto de avanço de injeção, parte das instruções para a realização deste procedimento, no equipamento que se dispunha, deu-se a partir de instruções técnicas repassadas por profissionais com experiência neste tipo de equipamento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 A utilização do diesel comercial (B5) para os ensaios testemunha

O experimento iniciou-se a partir dos ensaios com a testemunha previamente definida, que neste caso foi o óleo diesel comercial sem aditivo (B5) que já conta com 5% de biodiesel adicionado à mistura. Assim, os resultados acerca do desempenho do motor utilizado quando submetido aos demais tratamentos foram devidamente comparados aos resultados obtidos sob utilização deste tipo de combustível.

Como já foi anteriormente descrito, foram utilizadas três repetições para cada tratamento e, assim sendo, foram consideradas as médias dos resultados obtidos no decorrer dos ensaios. Os resultados que indicam os maiores valores de torque, potência e consumo específico obtidos no combustível testemunha estão expressos na Tabela 4.

**Tabela 4- Maiores valores obtidos com o combustível B5**

<b>Variável</b>	<b>Resultado</b>	<b>Rotação do motor (rpm)</b>
<b>Torque (N.m)</b>	234,45	1200
<b>Potência (kW)</b>	44,73	2000
<b>Consumo específico (g/kW.h<sup>-1</sup>)</b>	298,40	2100

### 4.2 Resultados obtidos para a variável torque

Nas rotações de torque máximo (1200 rpm), a proporção B10 apresentou-se superior até mesmo em relação à testemunha B5, todavia, este valor torna os resultados praticamente idênticos, visto que a diferença situou-se na faixa de 0,5%. Bueno (2006) explica que propriedades como viscosidade, tensão superficial e poder

calorífico também são alteradas com a adição de biodiesel, praticamente anulando os efeitos do aumento do número de cetano. O combustível B10 apresentou os maiores valores de torque, cerca de 6,1% superior aos valores apresentados pelo biodiesel metílico de soja puro (B100). Esses resultados estão em concordância com aqueles relatados por Maziero *et al.* (2005) que observaram durante a condução de seus ensaios, utilizando um biodiesel B100, uma redução média de cerca de 7,6% no torque produzido pelo motor. Os valores de torque obtidos nessa de rotação não diferiram estatisticamente até a proporção de mistura B70, contendo 70% de biodiesel adicionado ao diesel de origem mineral (redução média de 4,5% de torque comparado a testemunha B5); todavia, os melhores resultados deram-se sob a utilização das proporções B5 e B10. A Figura 13 ilustra o comportamento do torque dentro das diferentes faixas de rotação avaliadas.

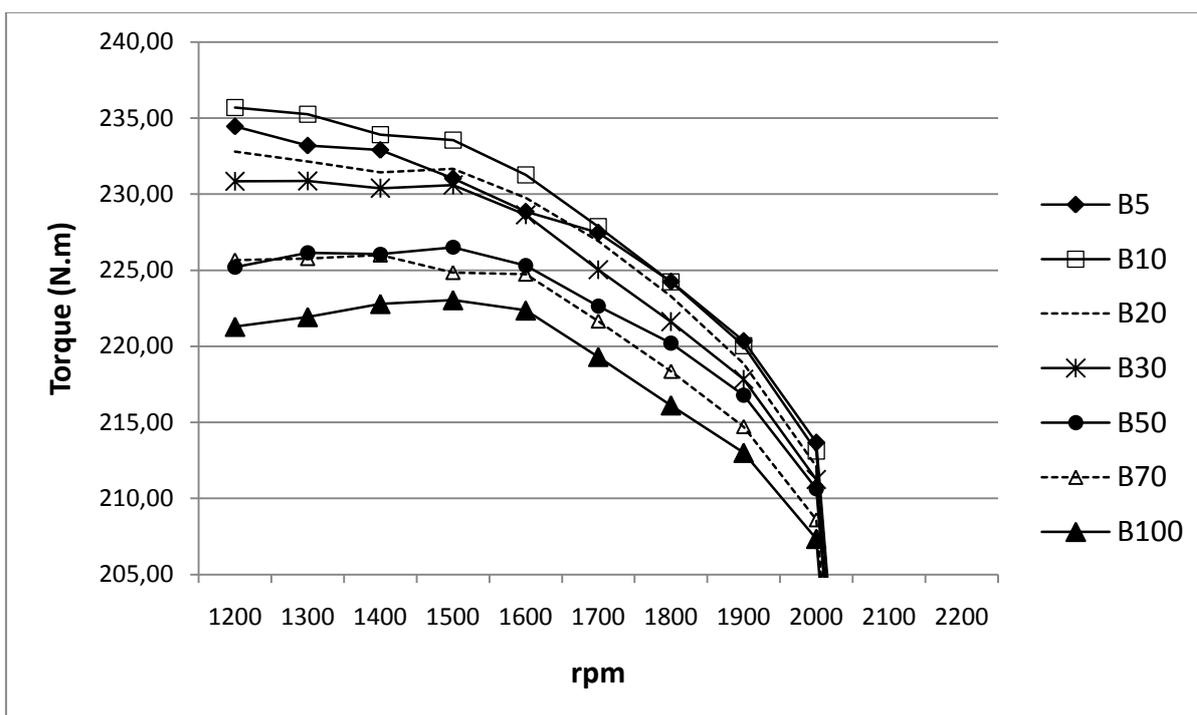


Figura 13- Torque obtido para os diferentes combustíveis utilizados.

O comportamento do torque apresentou a mesma tendência nas rotações de 1300 e 1400 rpm, sendo que nas faixas subsequentes foram apontadas maiores diferenças quanto maior eram as percentagens de biodiesel adicionado ao óleo diesel comercial. O biodiesel B100 apresentou uma redução estatisticamente

significativa (4,5%) em relação ao biodiesel B10, apontado como o de melhor desempenho na faixa de 1500 rpm. Já a proporção de mistura B20 superou levemente os valores da testemunha (B5) não se diferenciando estatisticamente do combustível B10, com melhor desempenho nesta faixa (valores de torque apenas 0,8% menores para o B20). Nesta mesma faixa de rotação o combustível B30 também não se diferenciou estatisticamente da proporção B20. Esses resultados se enquadram na descrição de Ejim *et al.* (2007) que afirmam que as misturas binárias com maiores proporções de óleo diesel de petróleo ainda podem proporcionar características de atomização adequadas para a formação da mistura em um motor diesel.

Os resultados também se encaixam na mesma tendência diagnosticada por Castellaneli *et al.* (2008) durante a condução de trabalhos utilizando diferentes misturas de biodiesel etílico de soja em um motor de ciclo Diesel de injeção direta. Esses autores relatam que, de forma geral, o biodiesel B2, o B5 e o B10 apresentaram desempenho semelhante ao do diesel, sendo que o biodiesel B20 destacou-se apresentando desempenho superior ao do diesel. Na sequência da análise do desempenho das misturas de B50 e B75, esses autores diagnosticaram que houve uma queda de desempenho, de forma gradual, à medida que se aumentou a percentagem de biodiesel da mistura, sendo que o biodiesel puro (B100) apresentou o pior desempenho.

Sala (2008) relata que em seus ensaios utilizando biodiesel metílico de soja em um motor de injeção indireta, os resultados obtidos com a mistura B20 apresentaram uma curva com a mesma tendência da observada com o combustível B2 no ensaio testemunha. Quando se dá prosseguimento à análise pode-se constatar que em rotações que se situam entre a faixa de 1600 a 1700 rpm, o biodiesel B20 continua expressando valores de torque levemente superiores aos apresentados pela testemunha (B5) e praticamente idênticos aos apresentados pelo combustível B10. Estes resultados corroboram com o que constataram Murugesan (2008) e Canakci (2006), os quais sugerem que misturas de biodiesel e diesel de origem mineral (fóssil), até um limite de 20% (B20), podem ser utilizadas sem que sejam realizadas maiores modificações no motor.

Nas faixas de rotação que seguem, as proporções acima de B70 apresentaram os piores resultados, diferindo-se estatisticamente dos valores apresentados pelas demais proporções. Este resultado se assemelha com o que

encontraram Peterson *et al.* (1996), os quais apontaram que, em relação ao óleo diesel puro (testemunha), o biodiesel em sua máxima concentração (100%) apresentou desempenho inferior nos quesitos potência, torque e consumo específico. Com o aumento do teor de biodiesel na mistura, a viscosidade aumenta diminuindo a eficiência volumétrica da bomba injetora, com conseqüente redução da massa de combustível a ser injetado. Essa redução de combustível cresce com o aumento de rotação (SALA, 2008). Bueno (2006) confirma esta tendência afirmando que o aumento da viscosidade do combustível decorrente da adição de biodiesel, também afeta a atomização e leva à formação de gotículas maiores, o que aumenta o tempo necessário para que ocorram os processos físicos de evaporação e mistura com o ar que antecedem o início da combustão.

Ao passo em que as rotações aumentam, as curvas tendem a se aproximar, fato que vai ao encontro do que descreve Sala (2008) em seus estudos. Esse autor cita que a aproximação das curvas é perfeitamente explicável, visto que o biodiesel tem um maior número de cetano, o que facilita a combustão de uma maior massa de combustível em um menor tempo. Assim, foi constatado no decorrer do trabalho que, em rotações acima de 2200 rpm, as diferenças entre as distintas proporções de biodiesel em mistura praticamente inexistem, sendo que, a única diferença significativa existente dá-se entre as proporções B5 (testemunha) e B100, visto que a testemunha supera em quase 4% os valores de torque gerados com o biodiesel B100. Segundo Castellanelli *et al.* (2008), a utilização do B100 se torna interessante em rotações mais elevadas, onde os parâmetros de desempenho de um motor de ciclo Diesel chegariam a valores próximos aos obtidos pelo óleo diesel puro.

É pertinente destacar que uma abordagem mais ampla deve considerar também as características intrínsecas a cada tipo de motor, conhecendo e avaliando as curvas de desempenho geradas pelos mesmos. Salvador (1984) realizou testes em um trator equipado com motor Agrale, modelo M-90-T, monocilíndrico vertical, com torque de 3,7 kgf.m a 1.800 rpm; utilizando éster metílico de *Joannesia princeps* Vell. a 100% e em misturas ao óleo diesel. Verificou que, em proporções de combustível B100, não houve queda de potência no motor e houve pequeno aumento no consumo de combustível na medida em que se aumentou a quantidade de éster na mistura. Na Tabela 5, pode-se visualizar os melhores resultados obtidos para a variável torque nos diferentes combustíveis utilizados.

**Tabela 5- Maiores valores de torque obtidos para os diferentes combustíveis e reserva de torque calculada**

<b>COMBUSTÍVEL</b>	<b>TORQUE (N.m)</b>	<b>RESERVA DE TORQUE (%)</b>
<b>B10</b>	235,68 a*	10,59
<b>B5</b>	234,45 a	9,72
<b>B20</b>	232,80 a	9,75
<b>B30</b>	230,83 a	9,27
<b>B50</b>	226,51 a	7,53
<b>B70</b>	225,66 a b	8,17
<b>B100</b>	223,03 b	7,57

Os valores seguidos pelas mesmas letras não diferem entre si pelo Teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro.

### **4.3 Resultados obtidos para a variável potência**

Os resultados obtidos para potência apontaram que em regimes de baixa e média rotação do motor o comportamento foi semelhante. Entre 1200 e 1500 rotações por minuto houve uma redução média de 5,2% de potência do B100 para a proporção de melhor desempenho, o B10, constatada como estatisticamente significativa. Quando a comparação se estendeu à testemunha, a proporção B100 desenvolveu valores de potência 4,4% menores que a proporção B5. Estes resultados se aproximam dos valores obtidos por Kaufman & Ziejewski (1984) em um motor diesel 74,6 kW, quatro cilindros, injeção direta, em testes dinamométricos por 200 horas sob o uso de metil éster de girassol (B100), resultando em potência 5,8% mais baixa que a obtida com óleo diesel.

Os resultados obtidos também seguem a mesma tendência dos valores apresentados por Oliveira *et al.* (2005), os quais realizaram ensaios utilizando as misturas B2, B5, B20 e B100 obtidas a partir do óleo de soja degomado, em um trator com potência nominal de 58 kW, e concluíram que a potência na TDP, com o uso de B100, foi um pouco inferior (-3,25%) aos valores apresentados nos ensaios utilizando diesel puro. De mesma forma, Volpato *et al.* (2009) verificaram em seus trabalhos que os valores médios para potência da proporção de mistura B100 de soja foram 5% menores, comparativamente ao óleo diesel comercial, indicando que

esses combustíveis apresentaram resultados tecnicamente satisfatórios. A Figura 14 ilustra o comportamento da potência para os combustíveis B10, B20, B70 e B100, dentro das diferentes faixas de rotação avaliadas.

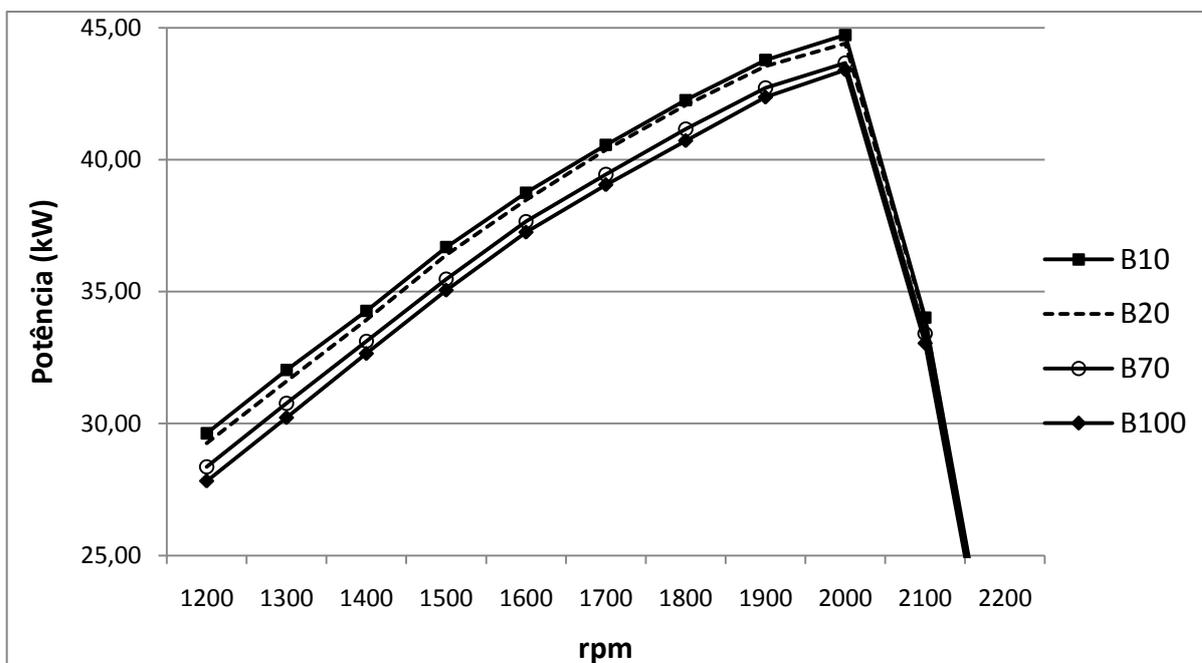


Figura 14- Potência obtida para os diferentes combustíveis utilizados.

Sob regimes de rotação superiores, variando de 1600 até a rotação nominal de 2000 rotações por minuto, onde o motor desempenhava sua máxima potência, o comportamento foi bastante similar. Quando o motor trabalhava a 1700 rpm, os tratamentos que apresentavam os menores valores em potência eram o B50, B70 e B100, sendo que, em relação à testemunha, a proporção B100 desempenhou valores de potência inferiores (-3,5%). Esses valores são ligeiramente superiores às reduções obtidas por Corrêa *et al.*(2008) para a potência no motor com os diferentes combustíveis, porém, as diferenças percentuais foram, no máximo, de 2,2%. Sob a mesma ótica de comparação, os valores obtidos também são superiores aos resultados obtidos por Barbosa *et al.* (2008), sendo que, tais autores identificaram uma redução média na potência do motor de 1,31% durante a condução de ensaios em motores de injeção direta. Esses autores também salientam que, em alguns regimes de rotação, as misturas B5 e B20 apresentaram valores de potência

praticamente iguais aos apresentados pelo diesel comercial, corroborando com os resultados apresentados neste trabalho.

Entre as rotações de 1800 e 2000 rpm apenas os combustíveis B70 e B100 apresentaram-se significativamente diferenciados em relação às demais proporções. Os maiores valores na faixa de rotação nominal (faixa de máxima potência) foram obtidos com o uso do combustível B10. As reduções nos valores de potência sob maiores proporções biodiesel adicionado ao diesel comercial podem ser atribuídas ao menor poder calorífico do biodiesel. Castellaneli *et al.* (2008) explicam que se a diferença nos valores de torque, de potência e de consumo específico se mantem ao longo das curvas, pode-se justificá-la devido à inferioridade do biodiesel em relação ao diesel na propriedade poder calorífico. Entretanto, quando se percebe um maior distanciamento entre as curvas em certa faixa de rotação, deduz-se que há também uma atomização ineficiente do combustível, prejudicando, dessa maneira, a queima do mesmo. Na Tabela 6 pode-se visualizar os melhores resultados obtidos para a variável potência nos diferentes combustíveis utilizados.

**Tabela 6 - Maiores valores de potência para os diferentes combustíveis**

<b>COMBUSTÍVEL</b>	<b>POTÊNCIA (kW)<sup>(*)</sup></b>	<b>POTÊNCIA (cv)<sup>(*)</sup></b>
<b>B10</b>	44,73 a*	60,83
<b>B5</b>	44,62 a	60,68
<b>B20</b>	44,40 b	60,38
<b>B30</b>	44,22 b	60,13
<b>B50</b>	44,11 b	59,98
<b>B70</b>	43,67 c	59,39
<b>B100</b>	43,40 c	59,02

(\*) Valores não corrigidos em relação às perdas pelo acoplamento a TDP do trator. Pode-se estimar um aumento de 8 a 10% nos valores de potência em função das perdas.

\*Os valores seguidos pelas mesmas letras não diferem entre si pelo Teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro.

## 4.4 Resultados obtidos para a variável consumo específico

### 4.4.1 Menores valores de consumo específico

Os valores obtidos para a variável consumo específico, no regime de menor rotação contabilizado nos ensaios, não demonstraram diferenças significativas entre as médias. Entre as rotações de 1300 e 1500 rpm pode-se constatar que os menores valores de consumo específico de combustível foram obtidos para a proporção B10. Os valores obtidos são semelhantes aos encontrados por Rakapoulos (2006) que observou um menor consumo específico de combustível sob a utilização de misturas contendo até 10% de biodiesel. No entanto, deve-se destacar que, nesta mesma faixa de rotação, o combustível B20 não apresentou diferença estatística significativa em relação ao combustível de menor consumo e, especificamente na faixa de 1400 rpm, essa proporção apresentou valores 2,3% menores que a própria testemunha (B5), que todavia não se traduziu em maiores diferenças entre tais combustíveis. Nessa faixa de rotação os resultados não diferiram estatisticamente entre si até a proporção B50.

Entre 1500 e 1700 rpm constatou-se que até a proporção B20 não foram identificadas diferenças significativas. Especificamente em 1700 rpm, os resultados não se apresentaram distintos estatisticamente até a proporção B30, a qual apresentou valores apenas 2,3% superiores aos identificados na testemunha (B5). Entre 1800 e 2000 rpm as proporções B5, B10 e B20 não se diferiram estatisticamente, sendo que, a diferença expressa entre a proporção B20 e a testemunha (B5) não foi superior a 1,6% (menor consumo em B5) para esta faixa de rotação. Sala (2008) corrobora com tais resultados afirmando que, em seus trabalhos utilizando biodiesel metílico de soja, os melhores resultados foram obtidos sob a utilização de teores de combustível vegetal até 20% (B20).

Sob uma análise geral pode-se dizer que o combustível que apresentou os menores valores de consumo específico ao longo de toda a curva foi a proporção de mistura B10, com resultados cerca de 1,9% menores do que os obtidos para o combustível testemunha (B5), justificando a quase inexistência de maiores diferenças estatísticas entre tais combustíveis na maior parte das faixas de rotação

avaliadas. Apenas nas faixas de rotação mais baixas houve um consumo maior por parte da testemunha (B5), sendo que nas faixas de maior consumo específico as diferenças foram mínimas entre a testemunha e o combustível B10. As curvas que expressam o consumo específico de combustível para as diferentes misturas são expressas na Figura 15. Já os melhores resultados acerca do consumo específico para os diferentes combustíveis estão expressos na Tabela 7.

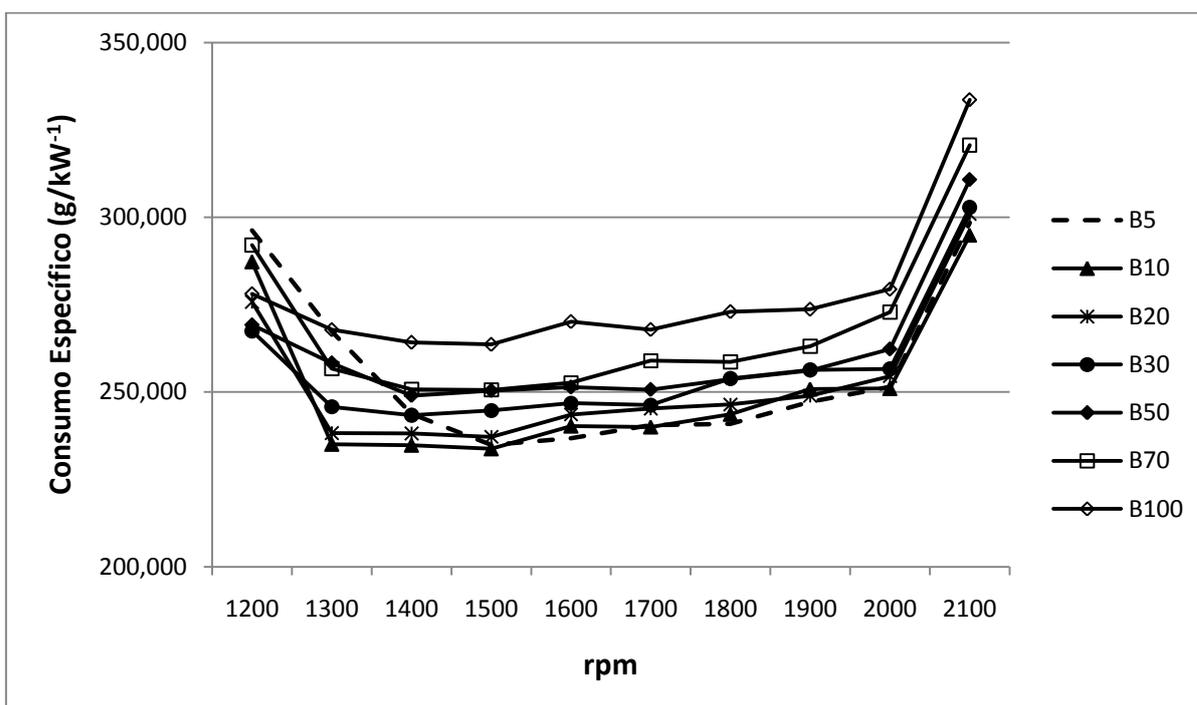


Figura 15- Consumo específico obtido para os diferentes combustíveis.

Tabela 7- Menores valores de consumo específico para os diferentes combustíveis

COMBUSTÍVEL	CONSUMO ESPECÍFICO (g/kW.h <sup>-1</sup> )
B10	233,78 a*
B5	234,87 a
B20	236,20 a
B30	244,70 a b
B50	250,40 b c
B70	250,62 c d
B100	263,63 d

\*Os valores seguidos pelas mesmas letras não diferem entre si pelo Teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro.

#### 4.4.2 Maiores valores de consumo específico

Visto que, como relatado anteriormente, não foram registradas diferenças significativas nas rotações mais baixas (1200 rpm), as faixas de rotação subsequentes identificaram que o biodiesel B100 apresentou os maiores valores de consumo específico. Cabe ressaltar que nas rotações onde normalmente ocorrem os menores valores de consumo específico (entre 1500 e 1700 rpm) para o motor ensaiado, o combustível B100 apresentou valores cerca de 11,1% maiores quando comparado aos valores apresentados pela testemunha (B5). Os resultados seguem a mesma tendência dos valores obtidos por Hilbert *et al.* (2002) que citaram aumento médio de 9,5% no consumo específico de combustível com o uso de biodiesel quando comparado ao diesel de petróleo. Segundo Sala (2008), as características distintas dos combustíveis com altos teores de biodiesel fazem com que o rendimento térmico do motor se reduza acarretando em um aumento do consumo específico de combustível. Esses resultados também se enquadram nas tendências identificadas por Maziero *et al.* (2005) que constataram que, em um motor de 92 kW, ocorreu um aumento médio do consumo específico em cerca 10% sob a utilização de biodiesel puro (B100) quando comparado ao diesel de origem mineral.

Na faixa de rotação que se situou entre 1400 e 1600 rpm, as proporções B70 e B100 apresentaram os maiores valores de consumo específico. Tais diferenças podem ser atribuídas ao menor poder calorífico gerado pela mistura; além disso, os maiores valores de viscosidade afetam a atomização do combustível. Não obstante, os maiores valores de número de cetano gerados pela mistura colaboram para que ocorra a queima antecipada da mistura, reduzindo o desempenho. Especificamente na faixa de 1500 rpm não foram identificadas diferenças significativas entre as proporções B50, B70 e B100, ilustrando o maior consumo específico destas proporções. Esta constatação vai ao encontro do que já havia identificado Sala (2008), o qual menciona que os ensaios realizados com os combustíveis que continham mais de 50% de biodiesel tiveram consumo específico maior do que o apresentado com o combustível B2 (testemunha).

Quando o motor funcionava em rotações mais elevadas, a partir de 1800 rpm, o combustível B100 continuava a mostrar-se superior nos valores de consumo específico em relação às demais misturas.

Quanto ao consumo horário de combustível, é pertinente salientar que as diferenças para todas as proporções de mistura avaliadas não foram significativas. Tal fato pode ser facilmente explicado, visto que o consumo horário de combustível, ao contrário do consumo específico, não leva em consideração a potência produzida (kW) por massa de combustível consumida (grama). Assim, como o biodiesel apresenta uma maior densidade quando comparado ao óleo diesel convencional, um dado volume de óleo diesel comercial possui uma massa inferior à apresentada pelo mesmo volume de biodiesel, acarretando em uma diminuição da diferença quando se comparam valores de volume de combustível consumido (L/h).

#### **4.5 Modificações no ponto de avanço de injeção e o uso de aditivos químicos**

Em relação aos demais fatores abordados na condução dos estudos, as análises estatísticas não identificaram significância e interação destes com as diferentes misturas de combustível ensaiadas.

##### **4.5.1 A utilização dos aditivos químicos**

Quanto à utilização dos aditivos químicos, não foi identificada nenhuma alteração nos parâmetros de desempenho do motor ensaiado sob a utilização do composto anteriormente descrito. Tal fato pode ser atribuído ao reduzido número de horas em que o motor foi ensaiado. O fabricante do produto cita como característica positiva a rápida ação que o composto exerce na limpeza e descarbonização de todo o sistema injetor, o que identifica a necessidade de que os próximos trabalhos voltados a esta linha de pesquisa enfoquem as consequências da utilização desse produto nos componentes de motores de ciclo Diesel.

Uma das características que pode ser visualmente identificada diz respeito à aparente redução de fumaça preta que saía do sistema de escape do trator, todavia, como o trabalho não objetivava a análise de emissões, a única análise realizada foi a visual.

#### 4.5.2 As modificações no ponto inicial de avanço da injeção

Outro fator que não exerceu significância estatística sobre os resultados obtidos foi o adiantamento do ponto inicial de avanço da injeção. Como anteriormente mencionado, devido às características intrínsecas dos combustíveis disponibilizados para os ensaios (menor número de cetano das amostras de biodiesel), preferiu-se adiantar o ponto de avanço de injeção, no intuito de se identificar a influência que esse fator exerceria no funcionamento do motor.

Apesar de não ter sido identificada influência significativa nos parâmetros de desempenho do motor testado, o adiantamento no ponto inicial de avanço da injeção proporcionou um comportamento diferenciado das curvas de torque obtidas no decorrer dos ensaios, como pode ser visualizado nas Figuras 16 e 17.

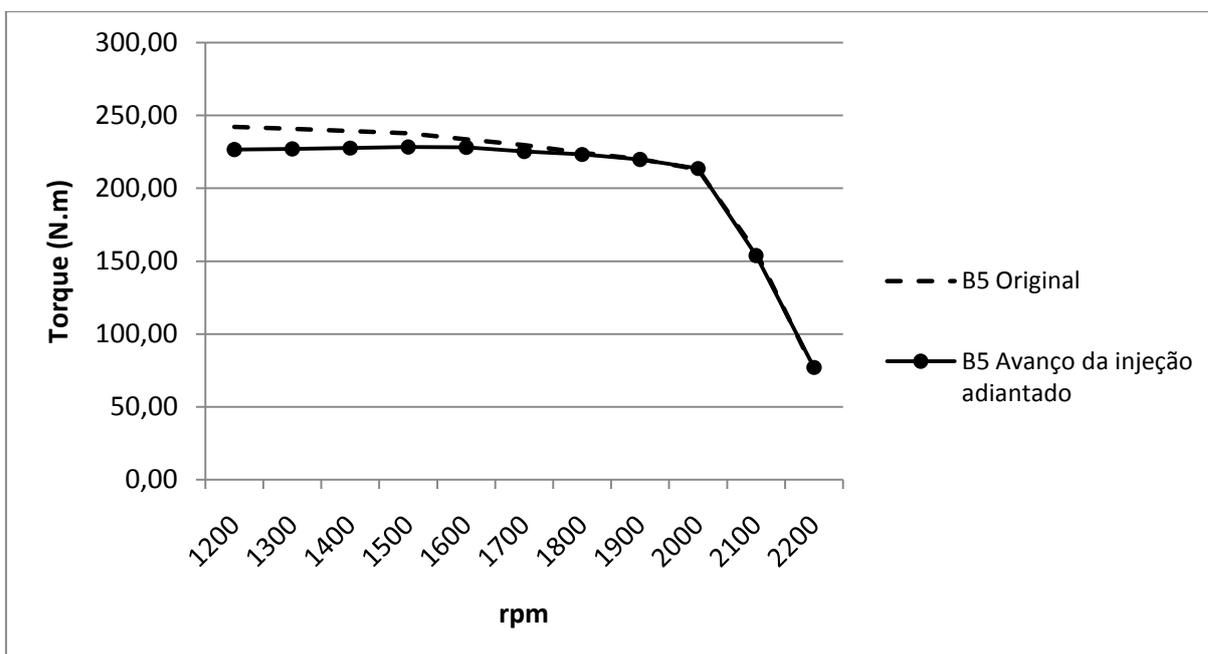


Figura 16- Curva de torque para o combustível B5 com ponto de avanço original e adiantado.

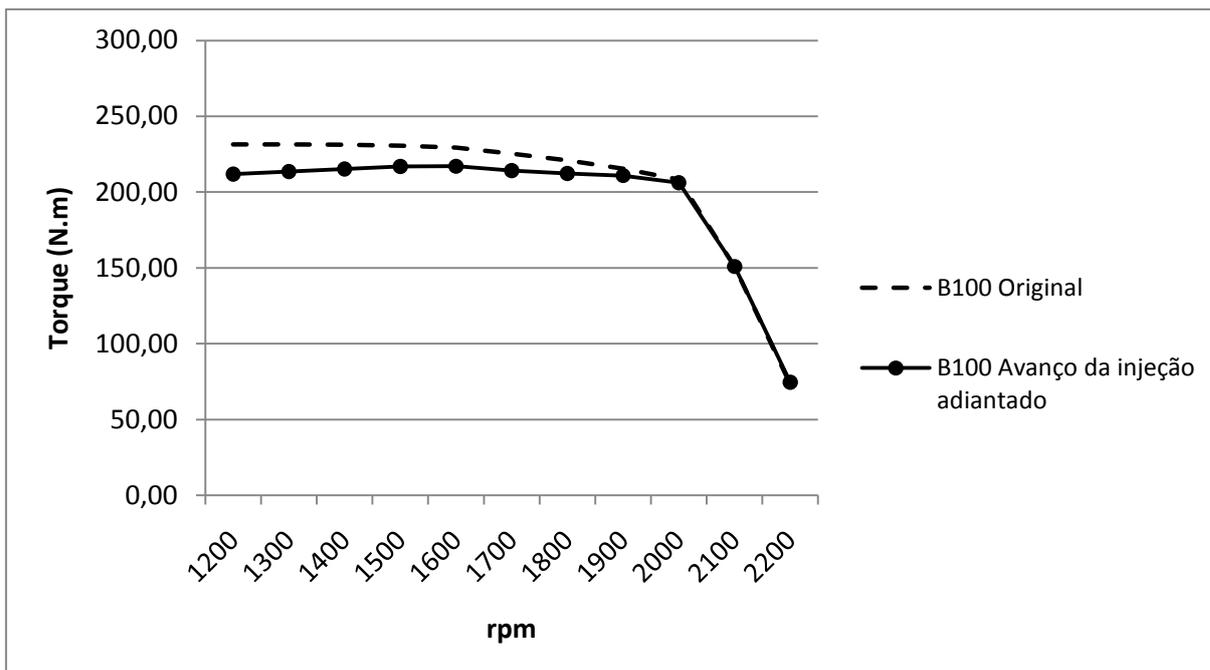


Figura 17- Curva de torque para o combustível B100 com ponto de avanço original e adiantado.

Analisando as curvas de torque anteriormente ilustradas verifica-se que houve um deslocamento do torque máximo para uma faixa de rotação um pouco superior quando o ponto de avanço da injeção encontrava-se adiantado. Procedendo-se com a análise dos valores obtidos para o combustível B5, verifica-se que enquanto o máximo valor de torque obtido foi de 242,10 N.m em um regime de rotação de 1200 rpm na configuração original, o adiantamento do ponto de avanço de injeção fez com que o máximo valor de torque fosse de 228,33 N.m em 1500 rpm. Este resultado expressou uma diferença de 5,6% entre as distintas configurações. Quando se analisam os valores obtidos para o combustível B100, verifica-se que o máximo valor de torque obtido foi de 231,53 N.m em um regime de rotação de 1200 rpm nas configurações originais, enquanto o máximo valor de torque sob a condição de adiantamento foi de 217,70 N.m em um regime de rotação de 1500 rpm. Tal resultado expressou uma diferença de 5,9% entre as distintas configurações.

Esses resultados comprovam que o número de cetano aparentemente baixo do biodiesel metílico de soja figurava como adequado, visto que não foram obtidos resultados favoráveis no desempenho do motor. Segundo Machado (2008), um número de cetano excessivo pode conduzir à combustão de uma fração significativa de combustível injetado muito próxima ao injetor, sem que ocorra uma distribuição mais uniforme na câmara de combustão. Também Canakci (2007) recomenda que

para combustíveis com número de cetano superior, o ponto de avanço da injeção deve sofrer ajustes. É pertinente salientar que o mesmo comportamento foi identificado nas demais proporções de mistura sob adiantamento do ponto de avanço da injeção, acarretando em pequenas perdas nos valores de torque além de propiciar o deslocamento do ponto de torque máximo de 1200 para 1500 rpm.

Quanto ao consumo específico, verifica-se que no combustível B5 a curva gerada após o ponto de avanço de injeção ser adiantado tende a ser mais suave. Nas rotações mais baixas, tal modificação proporciona uma economia de combustível que pode chegar a 23%, sendo que, na média de todas as rotações a economia de combustível chegou a 4,45%. Esse resultado comprova que, em combustíveis com menor número de cetano, o adiantamento do ponto de avanço pode proporcionar uma diminuição nos valores de consumo. Tal resultado pode ser comparado com o que afirma Kegl (2008), o qual recomenda, para a utilização de biocombustíveis com maior número de cetano, pontos de injeção atrasados em relação ao original para que se obtenham os melhores resultados em termos de consumo específico de combustível e de emissões de NOx. À medida que a rotação aumenta as diferenças entre as duas curvas diminuem.

A curva de consumo específico com o ponto de avanço da injeção adiantado apresenta uma tendência similar em proporções mais altas de biodiesel adicionado ao diesel mineral, todavia estes valores tendem a aumentar. Para o combustível B20, em menores faixas de rotação, a diferença máxima entre os valores de consumo específico foi de 9,5% a menos para o ponto de avanço adiantado. Diferença similar foi constatada na faixa próxima a rotação nominal (2000 a 2100 rpm); no entanto, nessa faixa de rotação foi o ponto de avanço adiantado que apresentou maiores consumos (cerca de 7% maiores). Cabe salientar que a média dos valores obtidos em toda a faixa de rotação indicou um consumo 0,9% superior sob a utilização do ponto de avanço adiantado, diferença praticamente inexpressiva. A comparação entre as curvas geradas pode ser visualizada nas Figuras 18 e 19.

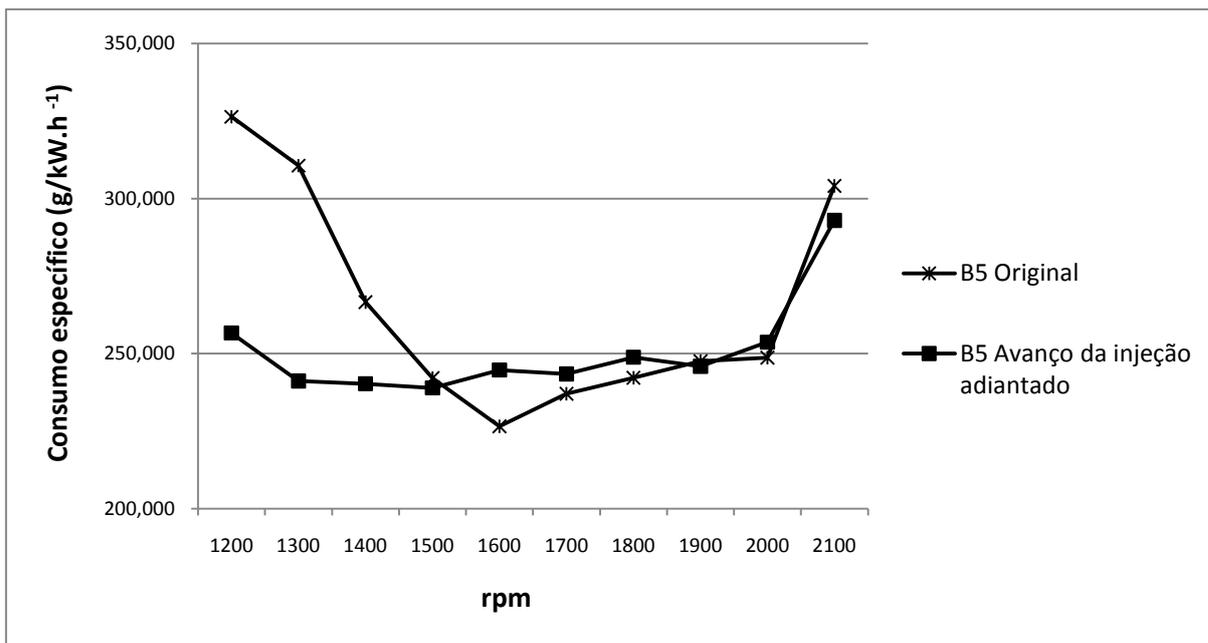


Figura 18- Curva de consumo específico para o combustível B5 com ponto de avanço original e adiantado.

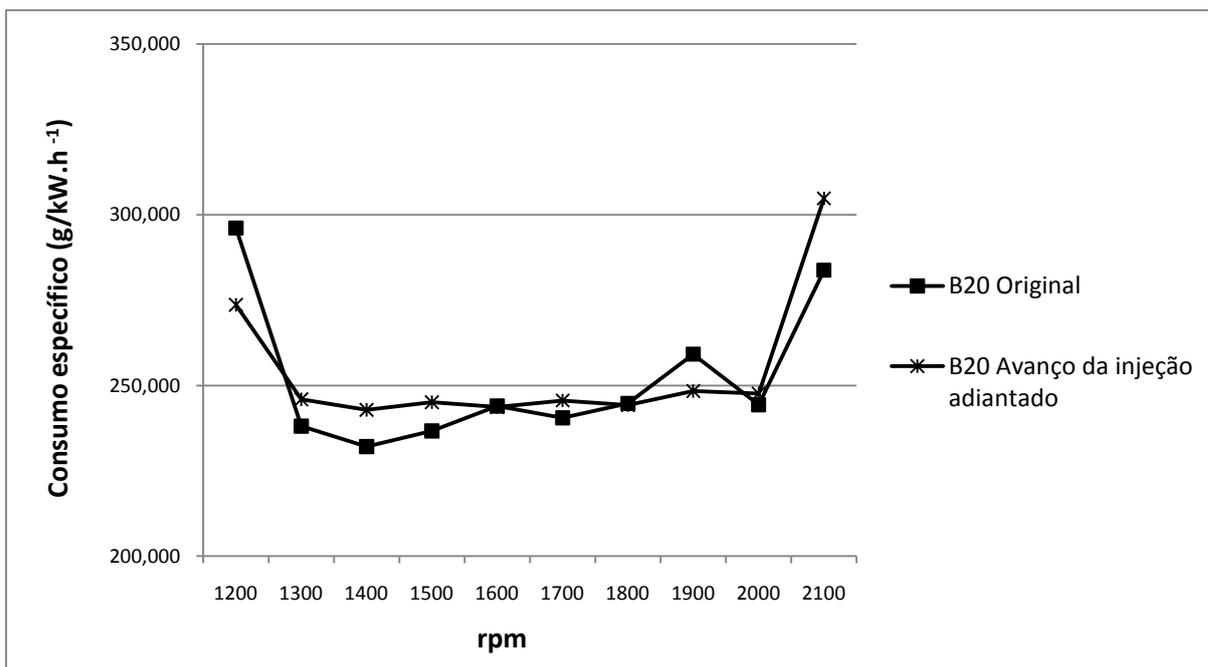


Figura 19- Curva de consumo específico para o combustível B20 com ponto de avanço original e adiantado.

À medida que se aumentam as proporções de biodiesel na mistura, os valores de consumo específico apresentados sob o ponto de avanço da injeção adiantado

tornam-se cada vez maiores. A Figura 20 ilustra o comportamento dos valores de consumo sob a utilização do combustível B100.

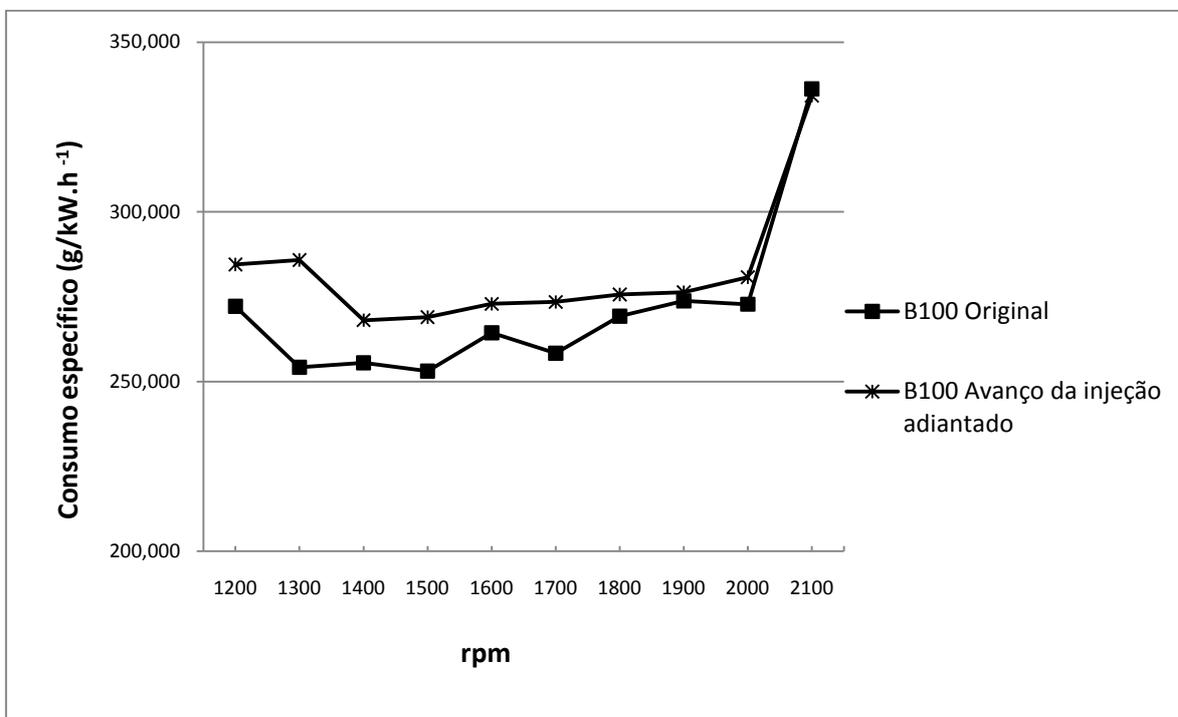


Figura 20- Curva de consumo específico para o combustível B100 com ponto de avanço original e adiantado.

Analisando-se as curvas ilustradas anteriormente, pode-se constatar que o ponto de avanço da injeção adiantado no combustível B100 apresentou maiores valores de consumo específico, cerca de 4% superiores, em toda a faixa de rotação, em relação aos valores apresentados com o motor em sua configuração original. Assim, torna-se possível identificar que em combustíveis com maior número de cetano, para estas condições, o adiantamento do ponto de avanço de injeção é plenamente dispensável.

## 5 CONCLUSÕES

Os melhores resultados, para o torque, foram obtidos sob a utilização do combustível B10. No entanto, esta proporção apresentou valores apenas 0,4% maiores que os valores apresentados pela proporção B5, não expressando maiores diferenças entre tais proporções. Pode-se constatar que em faixas de torque máximo (1200 rpm) o motor desempenhou valores semelhantes mesmo sob maiores proporções de biodiesel metílico de soja adicionado à mistura. Em relação à proporção B20, atualmente recomendada por boa parte dos fabricantes como proporção máxima de mistura em motores de ciclo Diesel, não foram identificadas maiores diferenças na comparação com os combustíveis de melhor desempenho, com valores de torque apenas 0,7% menores que os valores apresentados pelo combustível B10, em toda a faixa de rotação ensaiada. Os menores valores foram observados para o combustível B100, 5% inferiores aos apresentados pelo combustível de melhor desempenho, o B10.

Mesmo sob menores diferenças percentuais entre os combustíveis, os melhores resultados para potência também foram obtidos sob a utilização do combustível B10, com valores cerca de 0,2% maiores que os apresentados pelo combustível B5 na rotação de potência máxima. O combustível B100 apresentou valores 3% inferiores aos apresentados pelo combustível de melhor desempenho, o B10. Percebe-se, mais uma vez, que em proporções acima de B70 ocorreram os menores valores como consequência das características intrínsecas ao biodiesel, anteriormente abordadas.

O combustível que apresentou os menores valores de consumo específico ao longo de toda a curva foi o B10, com resultados cerca de 1,9% menores que os obtidos para o combustível B5. O combustível B100 apresentou os maiores valores de consumo específico, 10% superiores aos valores apresentados pelo combustível de melhor desempenho, o B10, caracterizando assim a sua menor eficiência energética.

Quanto à utilização dos aditivos químicos, não foi identificada nenhuma alteração nos parâmetros de desempenho do motor ensaiado. Todavia, o reduzido número de horas de ensaio pode ter colaborado para a inexpressividade dos

resultados. A utilização do ponto de avanço da injeção adiantado em relação ao original também não exerceu maior influência sobre os parâmetros de desempenho do motor. Todavia, para combustíveis com um menor número de cetano, como foi o caso do combustível B5, o adiantamento do ponto de avanço de injeção proporcionou uma economia média de combustível de 4,45%. Verifica-se também que houve um deslocamento do torque máximo para uma faixa de rotação superior quando o ponto de avanço da injeção encontrava-se adiantado.

Para as condições de ensaio anteriormente relatadas, onde foram realizados testes em um trator modelo 1986, dotado de um motor com 3000 horas de uso, percebe-se que há a possibilidade de utilização de maiores teores de biodiesel adicionado ao diesel de origem mineral sem a necessidade de maiores modificações no motor. Todavia, pelas razões já abordadas no decorrer do trabalho, é normal que ocorra relativa queda de desempenho sob o uso de maiores teores de biodiesel metílico de soja. Mesmo que ocorram reduções de torque e potência, e aumento do consumo específico de combustível, deve-se considerar a possibilidade de utilização de maiores proporções de biodiesel adicionado ao diesel comercial, realizando-se uma análise da viabilidade econômica inerente ao uso destes biocombustíveis. Desta forma, a condução de trabalhos futuros referentes a essa área de pesquisa deve fazer menção às consequências e impactos referentes ao uso do biodiesel oriundo de variadas matérias primas não só no desempenho dos motores ensaiados como na sustentabilidade do sistema produtivo e comercial, visto que o país deve dar prosseguimento ao processo de aumento gradual da quantidade de biodiesel que compõe o diesel comercial disponibilizado ao consumidor.

## 6 REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. **NBR 5484**. Motores Alternativos de Combustão Interna de Ignição por Compressão (Diesel) ou Ignição por Centelha (Otto) de Velocidade Angular Variável-Ensaio. Rio de Janeiro, Fev. 1985. 8p.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Relatório anual**. 2010. Disponível em: <<http://www.anp.gov/?id=324>> Acesso em: 21 jun. 2009.

ANTOLÍN, G. Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. **Bioresource Technology**, v. 83, p.111-114, 2002.

BARBOSA, R. L.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; VOLPATO, C. E. S. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1588-1593, set./out. 2008.

BIODIESEL BR. **Indústria americana de biodiesel luta para se manter na ativa**. 2007. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticia/bio/industria.htm>>. Acesso em: 12 jan. 2009.

BOSCH, R. **Manual de tecnologia automotiva**. 25 ed. São Paulo: Ed. Blücher, 2005, 1232p.

BOULANGER, P. **Motores diesel**. São Paulo: Ed. HEMUS, 1978, v. 1, 228p

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005a. 118p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço **Energético Nacional**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 07 de out. 2009.

BRASIL. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Processos Estratégicos de Longo Prazo. **Biocombustíveis**. Brasília, 2004b. 235p.

BRAUN, S.; APPEL L.G.; SHMAL, M., A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas a diesel - a questão dos particulados, estratégias atuais para a redução e controle de emissões e tendências futuras. **Revista Química Nova**, v.27, n. 3, p.472-482, jun. 2004.

BS BIOS. **Laudo técnico de amostra biodiesel referente a maio de 2010**. 2010, 2p.

BUENO, L. S. R. **Estudo da influência da composição do óleo vegetal sobre algumas propriedades do biodiesel**. 2007. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, PR, 2007.

CANAKCI, M. Performance and exhaust emissions of a biodiesel engine. **Applied energy**, v. 83, p.594-605, 2006.

CANDEIA, R. A. **Biodiesel de soja síntese degradação e misturas binárias**. 2008. 150f. Tese (Doutorado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PA, 2008.

CASTELLANELLI, M; SOUZA, S. N. M.; SILVA, S. I.; KAILER, E. K. Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinâmométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. **Revista Engenharia. Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.145-153, jan./mar. 2008.

CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Quanto custa produzir o biodiesel?**. Estudos Aplicados. Piracicaba. 2006, 8p.  
COMISSÃO EUROPÉIA. PROGRAMA ALTENER. Bioenergia: Manual sobre tecnologias, projeto e instalação. Portugal, Janeiro de 2004, 242 p.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**. Disponível em  
<[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3graos\\_08.09.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3graos_08.09.pdf)> Acesso em: 20 jul. 2009

COOPETRÓLEO – COOPERATIVA DE EPROFISSIONAIS DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO LTDA. **Número de cetano e índice de cetano**. 2007. Disponível em:  
<<http://www.coopetroleo.com.br>>. Acesso em: 20 mai. 2009.

CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; ÚNGARO, M. R.; BERNARDI, J. A.; STORINO, M. Desempenho de motor diesel com misturas de biodiesel de óleo de girassol. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 923-928, mai./jun. 2008.

DELGADO, L.M., **Los biocarburentes**: limitaciones y perspectivas. Apostila técnica, 1994, 32p.

EJIM, C.E. Analytical study for atomization of biodiesel and their blends in atypical inyector: Surface tension and viscosity effects. **Fuel**, v. 86, p. 1534-1544, 2007.

EMBRAPA, **Sistemas de Produção de Feijão**. 2004. Disponível em:  
<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/index.htm>>. Acesso em 03 abr. 2009.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologia de Produção de Soja – Paraná 2007**. Londrina, PR, 2006. Disponível em:  
<<http://www.cnpso.embrapa.br/download/publicacao/parana2007>>. Acesso em: 07 nov. 2009.

EUROSERV'ER. **Biofuels barometer**. Disponível em: <<http://www.euroserv-er.org/pdf/baro198.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2009.

EUROPEAN UNION. Directive 2003/30/EC of the European Parliament and on the Council of the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport. **Official Journal of The European Union**, European Union, may 17, 2003. L123/42.

HILBERT, J.A.; TESOURO, M.O., AUCUNÁ, M.O.; PINCU, M.S. **Rendimiento comparativo de biodiesel y gasoil en tractors agrícolas**. Buenos Aires: INTA, 2002.

HOGAN, E. Biodiesel Targeted Measures. In: BIODIESEL BASICS, 2005, Vancouver, Canadá. **Anais...** Vancouver: Vancouver Workshop, 30 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.biodiesel-canada.org>>. Acesso em: 19 out. 2009.

IMPERIAL, J. M. **Bombas de inyección diesel**. 7 ed. Espanha: Grupo Editorial Ceac, S.A., 1996, 288p.

JULIATO, A., **Análise da influência de diferentes misturas de biodiesel no desempenho e emissões de poluentes de um motor agrícola**. 2006.159f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz. Piracicaba, SP, 2006.

KAUFMAN, K. R.; ZIEJEWSKI, M. Sunflower methyl esters for direct injected diesel engines. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v. 42, n. 1, p. 1626-1633, 1984.

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

KNOTHE, G.; STEIDLEY, K. R. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuels components. **Fuel**, v. 84, p.1059-1065, 2005.

LEONTSINIS, E. **Óleo Diesel**. In: CURSO DE INFORMAÇÃO SOBRE COMBUSTÍVEIS E COMBUSTÃO. 11 ed., Rio de Janeiro : IBP, 1988. p. 65-77.

LIMA, P.C.R., **O Biodiesel e a inclusão social**. Estudos Consultoria Legislativa. Brasília, DF. 2004.

LIMA NETO, A. F. Biodiesel de mamona obtido por via etílica. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1., 2006, Brasília, DF. **Anais eletrônicos...**Brasília: 2006. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006>>. Acesso em: 13 ago. 2009.

MACHADO, P.R.M., **Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção**. 2008. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria.Santa Maria, RS, 2008.

MASSEY FERGUSON DO BRASIL. **Ficha técnica MF 275**. Disponível em: <<http://www.massey.com.br/portugues/espProdutos.asp?idproduto=604&serie=18>>. Acesso em: 12 mai. 2010.

MAZIERO, J. V. G.; CORRÊA, I. M.; TRIELLI, M. A.; BERNARDI, J. A.; D AGOSTINI, M. Avaliação do desempenho de um motor de ignição por compressão utilizando óleo diesel e éster etílico de óleo de girassol como combustível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2., 2005, Varginha, MG. **Anais...** Lavras: UFLA, 2005. CD-ROM.

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

MEIRELLES, F.S. **Biodiesel**. Federação da Agricultura do Estado de São Paulo. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília, 2003, 27p.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & utilização**. Piracicaba, FEALQ, 1996, 722p.

MURUGESAN, A. Biodiesel as an alternative fuel for diesel engines – a review. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**. 2008. Disponível em: <<http://www.elsevier.com>>. Acesso em: 07 jul. 2009.

MWD. **Manual técnico dinamômetro NL 480**. Córdoba, 2009, 65p.

NATIONAL BIODIESEL BOARD. **Average density and heating value of biodiesel e diesel fuel**. Disponível em: <<http://www.biodiesel.org>>. Acesso em: 17 jul. 2009.

NETO, P. R. C.; ROSSI, L. F. S.; ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Utilization of used frying oil for the production of biodiesel. **Química Nova**, v.23, p. 531-537, 2000.

OBERT, E. F. **Motores de Combustão Interna**. 2 ed. Porto alegre: Globo, 1971. 618p.

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

PARENTE, E. **Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza, 30 mar.2003. Disponível em: <<http://www.tecbio.com.br/Downloads>>. Acesso em: 10 jul. 2009.

PENTEADO, R. A. N., CUNHA, R. B. C., PENTEADO, A.P., **Biodiesel – Uma Sinopse das Conjunturas Brasileira e Mundial**. Estudo encaminhado pela Eletronorte. 6p. 2007.

PETERSON, C.L.; AULD, D.L.; THOMPSON, J.C. Experiments with vegetable oil expression. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v.26, n.5, p.1298-1302, 1996.

PHOENIX CHEMICAL LAB. **Biodiesel**. Disponível em: <[http://www.uiweb.uidaho.edu/bioenergy/Onroad\\_testing.shtml#Biodiesel](http://www.uiweb.uidaho.edu/bioenergy/Onroad_testing.shtml#Biodiesel)>. Acesso em: 06 dez. 2009

PRATES, C.P.T., PIEROBON, E.C., COSTA, R.C., **Formação do Mercado de Biodiesel no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 39-64, 2007.  
RAKAPOULOS, C.D. Comparative performance and emissions study of a direct injection Diesel engine using blends of Diesel fuel with vegetable oils or biodiesel of various origins. **Energy conversion & management**, v. 47, p. 3272-3287, 2006.

RAMOS, L.P., A importância e a viabilidade do biodiesel como alternativa para a matriz energética nacional. **Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**. 2003. Disponível em: <<http://www.biotecnologia.com.br>>. Acesso em: 25 set. 2009.

REIS, A.V.; MACHADO, A.L.T.; TILLMANN, C.A.C.; MORAES, M.L.B. **Motores, tratores, combustíveis e lubrificantes**. 1 ed., Pelotas: Editora e gráfica UFPEL, 1999, 315p.

SALA, J.A. **Desempenho de um motor diesel de injeção indireta em função da variação do teor de biodiesel**. 2008. 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2008.

SALVADOR, N. **Desempenho de um motor de ciclo Diesel utilizando o éster metílico do óleo de *Joannesia princeps*, Vell; em substituição e em misturas com o óleo Diesel**. 1984. 54f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 1984.

SANTOS, A. M. Uso do biodiesel em um motor de ignição por compressão turboalimentado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS VEGETAIS E BIODIESEL, 1., 2004, Varginha, MG. **Anais...**Lavras: 2004, p. 299-304.

SANTOS, M. A. **Inserção no biodiesel na matriz energética brasileira: aspectos técnicos e ambientais relacionados ao seu uso em motores de combustão**. 2007. 117f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Curso de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2007.

STP PETROPLUS. **Ficha técnica SC diesel fuel injector**. 2010, 1p.

SUAREZ, P.A.Z.; MENEGHETTI, S.M.P.; MENEGHETTI, M.R.; WOLF, C.R. Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica. **Revista Química Nova**, v. 30, n.3, p. 667-676, 2007.

TAT, M.E.; VAN GERPEN J.H.; WANG, P.S. Fuel property effects on injection timing, ignition timing, and oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fueled engines. **Transactions of The Asabe**, v.50, n.4, p.1123-1128, 2007.

TEIXEIRA, L.C., Potencialidades de oleaginosas para a produção de biodiesel. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v. 26, n. 229, p.18-27, 2005a.

TOBOLDT, B. **Diesel: Fundamentals, service, repair**. Illinois: The Goodheart – Willcox Company, inc., 1980, 352p.

TYSON, K.S. **Biodiesel handling and use guidelines**. Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/cleancities/blends/pdfs/5845.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2009.

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

VIEIRA, J.L., **Combustíveis verdes na Inglaterra**. Tudo sobre plantas. Disponível em: <<http://blog.tudosobreplantas.com.br>>. Acesso em: 5 out.. 2009.

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