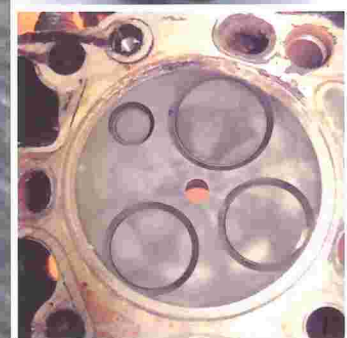


B5

Testes e Ensaio para Validação
do Uso da Mistura Biodiesel B5
em Motores e Veículos



Presidente da República
Luiz Inácio Lula da Silva

Vice-Presidente da República
José Alencar Gomes da Silva

Ministro da Ciência e Tecnologia
Sergio Machado Rezende

Secretário Executivo
Luiz Antonio Rodrigues Elias

Secretário de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação
Ronaldo Mota

Ministério da Ciência e Tecnologia
Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação

Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

Programa de Testes e Ensaios em Motores com Biodiesel

Resultados do Programa de Validação da Mistura B5

Brasília, 2009

Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)
Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC)

Coordenação desta Publicação:

Adriano Duarte Filho
Coordenador Geral de Tecnologias Setoriais
Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)

Edilson Bernardim Andrade
Coordenador do Programa Brasileiro de
Desenvolvimento Tecnológico de Combustíveis
Alternativos – Probiodiesel

Rafael Silva Menezes
Coordenador de Ações de Desenvolvimento
Energético
Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)

Colaborador:

Gustavo de Lima Ramos
Analista em Ciência e Tecnologia
Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)

T343 Testes e ensaios para validação do uso da mistura biodiesel B5 em motores e veículos / Ministério da Ciência e Tecnologia. Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009
176p.

Biodiesel, o novo combustível do Brasil. Programa nacional de produção e uso de biodiesel, Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel.

1. Biodiesel. 2. Mistura Biodiesel/diesel. 3. Motor de combustão interna – teste. 4. Veículo automotor – teste. I. Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. II. Andrade, Edilson Bernardim. III. Duarte Filho, Adriano. IV. Menezes, Rafael Silva

CDU 662.758.2

Esta publicação é parte as atividades desenvolvidas no âmbito do Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI 2007 – 2010), Programa 10.1 – Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel e do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel.

Os textos desta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.
Impresso em 2009

Com a criação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel – PNPB e a aprovação da Lei 11.097/05, que estabelece o percentual obrigatório de 5% de adição de biodiesel ao diesel, exigiu-se, por parte do Programa, a realização de testes e ensaios em motores, visando a validação do uso da mistura B5, para assegurar ao consumidor final a manutenção da garantia de veículos e equipamentos.

Nesse sentido, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, formatou-se a estrutura de um Programa de Testes e Ensaios em Motores e Veículos com Biodiesel. A implementação e execução desse programa iniciou-se com a criação de uma comissão técnica, reunindo representantes das instituições: Anfavea, Sindipeças, Tecpar, IPT, Petrobrás/Cenpes, MME, MDIC, Ibama e ANP. O planejamento, monitoramento e avaliação dos resultados de todos os testes e ensaios são realizados sob a responsabilidade da referida comissão.

Vários testes em frotas cativas de veículos leves e pesados, de motores em bancadas e motores estacionários, vêm sendo conduzidos em parceria com diversas instituições e empresas públicas e privadas de diferentes estados brasileiros.

Desde o início do PNPB, em 2004, o MCT destinou recursos para esta ação. As empresas participantes, como contrapartida, financiaram grande parte dos recursos diretos e indiretos necessários para a realização dos testes.

O MCT reconhece a importância de todos os atores envolvidos no programa de testes – fabricantes de veículos e de partes e peças, órgãos ambientais, pesquisadores, universidades, institutos de pesquisas, produtores de biodiesel, laboratórios, distribuidoras de combustível, frotistas, concessionários, mecânicos e motoristas –, cujas participações contribuíram efetivamente para os resultados obtidos.

Esta publicação apresenta os principais resultados dos testes realizados com a mistura de 5% de biodiesel ao diesel (B5) no âmbito do PNPB. As informações resultantes desses testes constituem um conjunto singular de conhecimento da utilização de misturas biodiesel em veículos comerciais e são importantes para subsidiar as decisões para o desenvolvimento do programa.

Secretário de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação
Ronaldo Mota

The first part of the paper discusses the importance of the research and the objectives of the study. It also outlines the methodology used in the study and the data sources.

The second part of the paper presents the results of the study and discusses the implications of the findings. It also compares the results with previous research in the field.

The third part of the paper discusses the limitations of the study and suggests areas for future research. It also provides a conclusion and a summary of the main findings.

The fourth part of the paper discusses the practical implications of the study and provides recommendations for policy and practice. It also includes a list of references and an appendix.

The fifth part of the paper discusses the theoretical implications of the study and provides a list of references. It also includes a list of references and an appendix.

The sixth part of the paper discusses the practical implications of the study and provides recommendations for policy and practice. It also includes a list of references and an appendix.

The seventh part of the paper discusses the theoretical implications of the study and provides a list of references. It also includes a list of references and an appendix.

The eighth part of the paper discusses the practical implications of the study and provides recommendations for policy and practice. It also includes a list of references and an appendix.

1.	Contexto	9
1.1.	Aspectos do Mercado de Óleo Diesel no Brasil	9
1.2.	Aspectos do Mercado de Biodiesel no Brasil	12
2.	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)	15
3.	Programa de Testes e Ensaio em Motores com o Combustível B5	16
4.	Metodologia Aplicada nos Testes	18
4.1.	Testes em Frota	18
4.2.	Testes em Banco Dinamométrico	20
5.	Caracterização e Resultados dos Testes em Frota com Combustível B5	21
5.1.	Considerações	21
5.2.	Projeto Bomba Rotativa	22
5.2.1.	Volkswagen / FIAT – Bebidas Ipiranga – Ribeirão Preto – São Paulo	22
5.2.1.1.	Apresentação	22
5.2.1.2.	Desempenho em Frota	24
5.2.1.3.	Avaliação do Motor	24
5.2.1.4.	Sistema de Injeção de Combustível	25
5.2.1.5.	Parecer	26
5.2.2.	Valtra – Fazenda Catanduva – Catanduva – São Paulo	26
5.2.2.1.	Apresentação	26
5.2.2.2.	Desempenho em Frota	28
5.2.2.3.	Avaliação do Motor	29
5.2.2.4.	Sistema de Injeção de Combustível	31
5.2.2.5.	Parecer	33
5.3.	Projeto Unit Pump System (UPS)	34

5.3.1.	Mercedes-Benz – Viação Cidade Dutra – Cidade Dutra – São Paulo	34
5.3.1.1.	Apresentação	34
5.3.1.2.	Desempenho em Frota	37
5.3.1.3.	Avaliação do Motor	39
5.3.1.4.	Sistema de Injeção de Combustível	46
5.3.1.5.	Parecer	47
5.4.	Projeto Common Rail	47
5.4.1.	Ford – Salvador – Bahia	47
5.4.1.1.	Apresentação	47
5.4.1.2.	Desempenho em Frota	50
5.4.1.3.	Avaliação do Motor	51
5.4.1.4.	Sistema de Injeção de Combustível	57
5.4.1.5.	Parecer	68
5.4.2.	Volkswagen – Real Auto Ônibus – Rio de Janeiro	68
5.4.2.1.	Apresentação	68
5.4.2.2.	Desempenho em Frota	70
5.4.2.3.	Avaliação do Motor	71
5.4.2.4.	Sistema de Injeção de Combustível	74
5.4.2.5.	Parecer	75
5.4.3.	Coppe/UFRJ – Volkswagen – Engemix – Rio de Janeiro	75
5.4.3.1.	Apresentação	75
5.4.3.2.	Desempenho em Frota	77
5.4.3.3.	Avaliação do Motor	83
5.4.3.4.	Avaliação do Sistema de Injeção de Combustível	84
5.4.3.5.	Parecer	89
5.5.	Projeto Unit Injector System (UIS)	89
5.5.1.	Scania – Rodomax – Cascavel – Paraná	89
5.5.1.1.	Apresentação	89
5.5.1.2.	Desempenho em Frota	92
5.5.1.3.	Avaliação do Motor	93

5.5.1.4.	Sistema de Injeção	93
5.5.1.5.	Parecer	94
6.	Caracterização e Resultados dos Testes em Banco Dinamométrico	95
6.1.	Considerações	95
6.2.	Fabricantes de Motores	95
6.2.1.	Common Rail – Ford	95
6.2.1.1.	Apresentação	95
6.2.1.2.	Desempenho	96
6.2.1.3.	Emissões	101
6.2.2.	Mercedes-Benz – Unit Pump System (UPS)	106
6.2.2.1.	Apresentação	106
6.2.2.2.	Desempenho	107
6.2.2.3.	Emissões	108
6.2.3.	Scania – Unit Injector System (UIS)	108
6.2.3.1.	Apresentação	108
6.2.3.2.	Desempenho	109
6.2.3.3.	Emissões	112
6.3.	Centros de Pesquisa e Tecnologia	112
6.3.1.	Mercedes-Benz – IPT – São Paulo	112
6.3.1.1.	Apresentação	112
6.3.1.2.	Procedimento Experimental	114
6.3.1.3.	Resultados Obtidos e Análises	116
6.3.1.4.	Testes Complementares	124
6.3.1.5.	Parecer	127
6.3.2.	MWM – LacTec – Paraná	127
6.3.2.1.	Apresentação	127
6.3.2.2.	Procedimento Experimental	128
6.3.2.3.	Características de Desempenho	130
6.3.2.4.	Características das Emissões	136
6.3.2.5.	Parecer	139

7.	Qualidade dos Combustíveis	140
7.1.	Considerações	140
7.2.	Resultados Observados	144
7.3.	Ocorrência	145
8.	Aspectos Relativos às Condições de Estocagem dos Combustíveis	148
9.	Qualidade do Óleo Lubrificante	150
10.	Conclusões	152
10.1.	Qualidade dos Combustíveis	152
10.2.	Desempenho dos Motores e Veículos	152
10.3.	Efeito em Motores, seus Sistemas e Componentes	153
10.4.	Emissão de Poluentes	154
11.	Equipe de Coordenação e Execução	155
12.	Projetos Suplementares	158
12.1.	Teste B30 com a Peugeot e Citroën	158
12.2.	Teste com Motores Off-Road	159
12.3.	Teste B20 com Motor Mercedes-Benz do Brasil	162
12.4.	Teste em Gerador de Eletricidade – Ensaio de Partida de Motor com Mistura B5 Envelhecida	164
13.	Referências Bibliográficas	173

1.1. Aspectos do Mercado de Óleo Diesel no Brasil

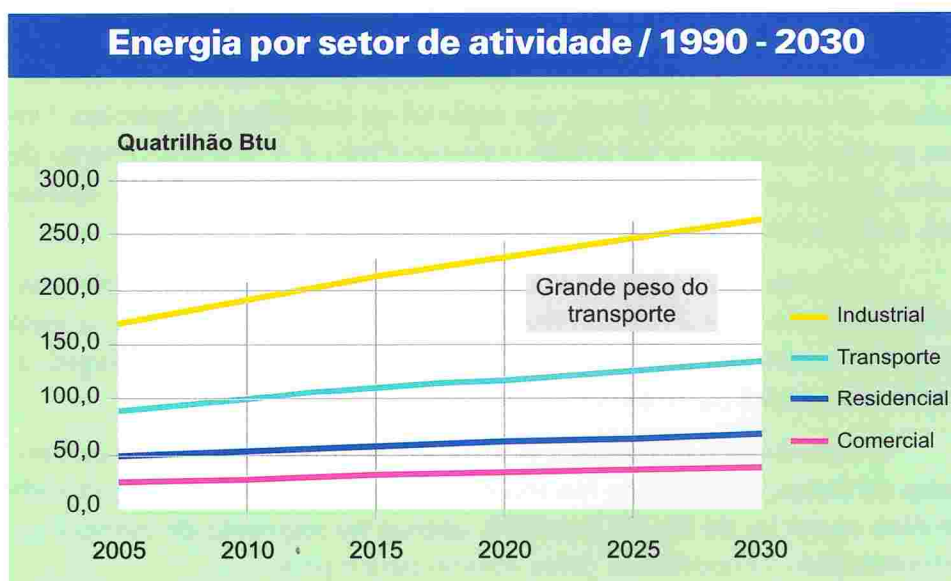
Segundo o International Energy Outlook – 2009 (IEO 2009), publicado pelo Departamento de Energia dos EUA, o consumo de energia no mundo foi de 472 quatrilhões de British thermal units (Btu), em 2006. Ainda de acordo com o IEO 2009, a previsão de consumo para o ano de 2030 será de 678 quatrilhões de Btu, evidenciando um aumento de 44% na necessidade mundial de energia, se forem mantidas as leis e políticas energéticas atuais.

Os países em desenvolvimento, conduzidos pelos BRICs (Brasil, Rússia, Índia e China) contabilizarão dois terços do crescimento da demanda de energia, pois necessitam levar para a população condições mínimas de conforto energético.

O grande desafio da humanidade é desenvolver a capacidade de gerar energia necessária para o consumo, de forma sustentável.

Na figura 1, observa-se a evolução do consumo de energia no mundo e a expressiva participação do setor de transportes.

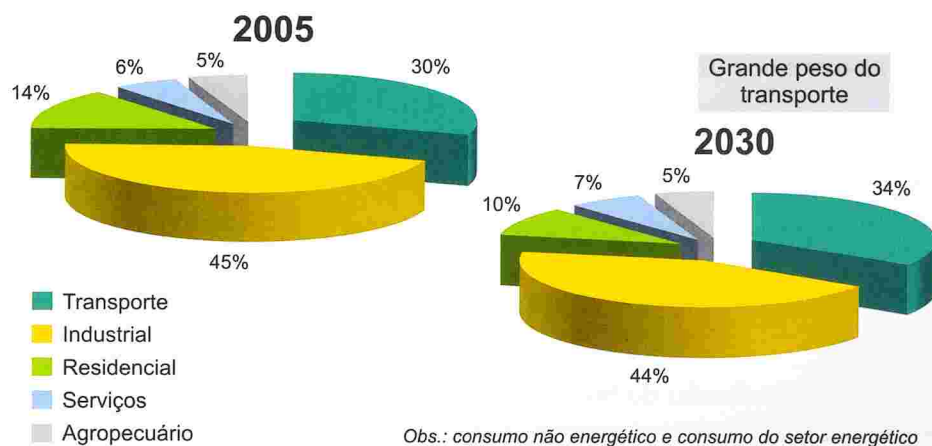
Figura 1: Consumo de energia no mundo



Fonte: International Energy Outlook, EIA/DOE, Setembro 2008,

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) prevê o aumento do consumo de energia também no Brasil; em especial, o aumento da demanda do setor de transportes. Pode-se observar, na Figura 2, que esse setor, atualmente responsável por 30% do consumo energético do país, deverá ter sua participação incrementada em 4% até 2030.

Figura 2: Estrutura, por setor, de consumo final de energia no Brasil



Frota de veículos no Brasil em 2007 – Total: 25,6 milhões (2,5% mundo)
Automóveis: 20,4 M Veículos comerciais leves: 3,3 M
Caminhões: 1,5 M Ônibus: 0,4 M

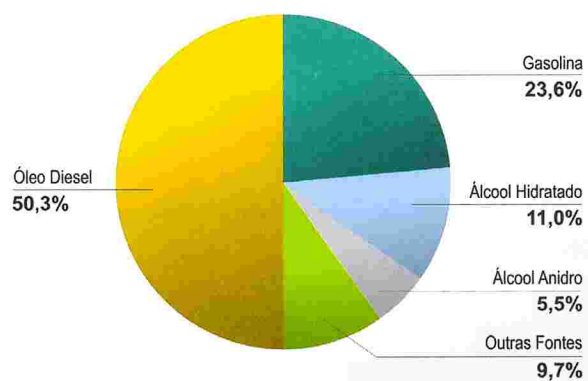
Fonte: EPE

O setor de transportes tem como característica própria a elevada demanda de combustíveis fósseis, em especial os derivados de petróleo. Um dos grandes desafios da sociedade contemporânea é o desenvolvimento de novos combustíveis e fontes de energia que possam substituir esses derivados, independentemente de sua oferta atual e futura.

As principais forças mobilizadoras para esse desenvolvimento passam pela racionalização do uso dos recursos naturais disponíveis, buscando favorecer a sustentabilidade em todas as suas dimensões, seja energética, econômica, social ou ambiental.

O óleo diesel é o combustível mais utilizado no Brasil. Dados preliminares do Balanço Energético Nacional (BEN 2009) indicam que a demanda de óleo diesel foi de 50,3% em 2008, apenas no segmento de transportes, demonstrando a importância desse insumo para o país.

Figura 3: Estrutura do Consumo no Setor de Transporte Brasileiro



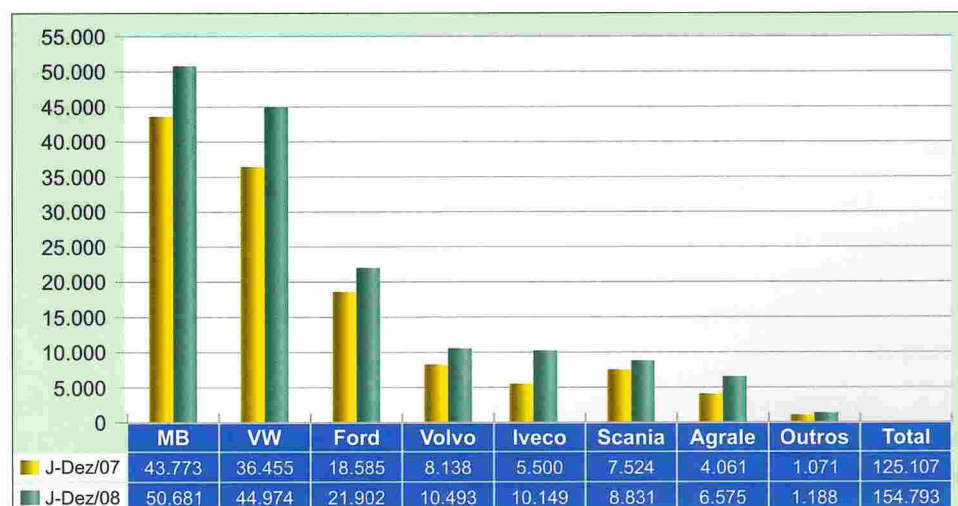
Fonte: Balanço Energético Nacional preliminar – BEN 2009

Contudo, apesar de manter a autossuficiência na produção de petróleo e derivados, alcançada em 2006, o Brasil é, tradicionalmente importador de óleo diesel, pois sua demanda vem se mostrando, ao longo dos anos, consistentemente maior que sua produção.

Segundo o Anuário Estatístico de 2008, da Agência Nacional de Petróleo (ANP), observa-se que em 2007 o dispêndio com as importações de derivados somou US\$ 6,9 bilhões, sendo o óleo diesel responsável por 43,5% do montante.

Essa tendência será mantida nos próximos anos, pois se verifica, com a evolução da indústria automobilística brasileira, o crescimento da produção e venda de equipamentos com motores do ciclo diesel, como mostra a figura acima, o que sugere a evolução da demanda por óleo diesel, para os próximos anos.

Figura 4: Crescimento das vendas de veículos pesados no Brasil entre 2007 e 2008

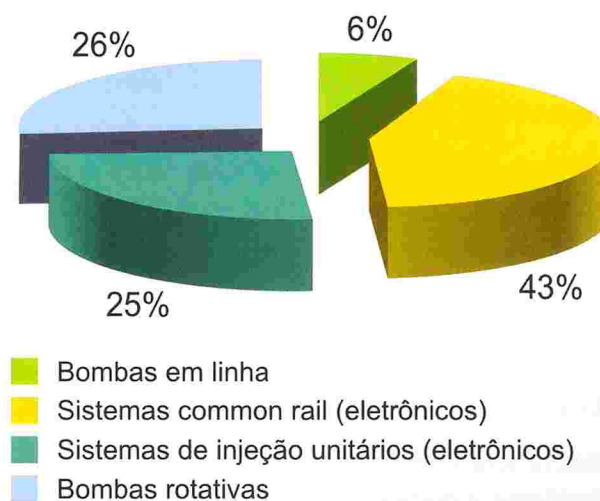


Fonte: Associação dos Fabricantes de Veículos Automotores – Anfavea

A evolução no mercado de veículos diesel vem acompanhada da evolução tecnológica em razão da crescente adoção dos sistemas eletrônicos de injeção de combustível, ponto principal da tecnologia desses motores.

Na figura 5, observa-se que os sistemas eletrônicos de injeção já respondem por cerca de 70% desse mercado.

Figura 5: Distribuição dos tipos de sistemas de injeção em produção no Brasil em 2008



Fonte: Robert Bosch Limitada.

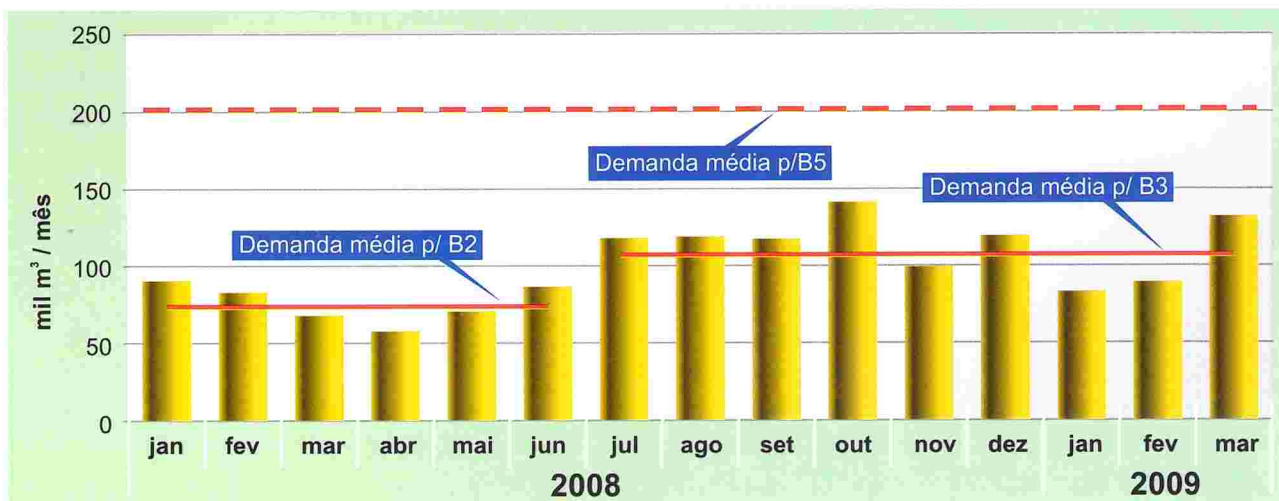
1.2. Aspectos do mercado de biodiesel no Brasil

O Brasil é, historicamente, um grande contribuinte para a redução do uso de combustíveis fósseis no mundo, a notar pelo seu domínio na tecnologia de produção de álcool combustível, desde os anos 70. Com o início do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, em 2004, reafirmou sua opção ao eleger os biocombustíveis como o caminho natural para a redução sustentável do uso de petróleo e derivados.

De acordo com os dados do Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis do Ministério de Minas e Energia (MME), a produção de biodiesel totalizou mais de 153 mil metros cúbicos no mês de julho de 2009, em função das entregas pelos produtores à distribuidora e da formação de estoque.

A capacidade instalada de produção, no mês de julho de 2009, foi de aproximadamente 3,6 milhões de metros cúbicos anuais, dos quais 92% têm o Selo Combustível Social, no âmbito do programa do Governo Federal de incentivo à produção de biodiesel, como mostra a figura abaixo:

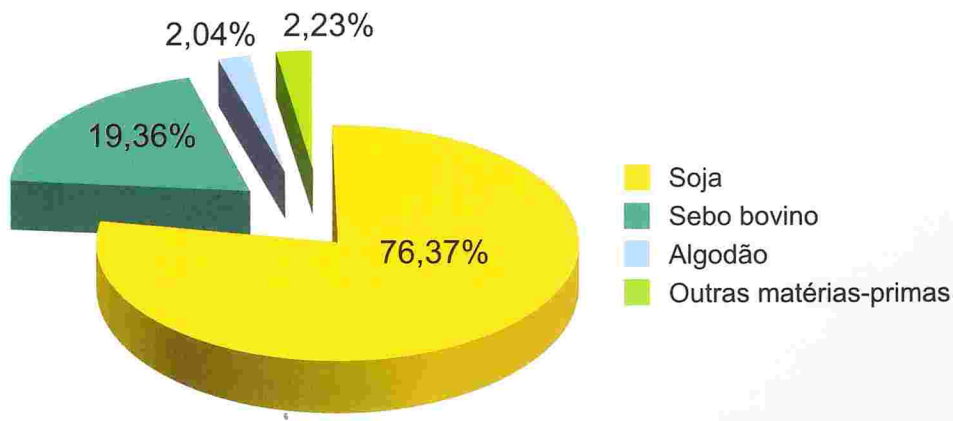
Figura 6: Evolução Mensal da Produção e da Capacidade Produtiva de Biodiesel no Brasil




Fonte: Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis, edição nº 14, de fevereiro de 2009, da Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis do Ministério de Minas e Energia – MME.

Até o momento, é relevante o fato de o óleo de soja ser a matéria-prima mais utilizada na fabricação do biodiesel, seguida pelo sebo (gordura animal) e do óleo de algodão. No mês de fevereiro de 2009 (Figura 7), segundo o MME, a participação ficou em 74% para o óleo de soja, 19% para o sebo, 2% para o óleo de algodão e 2% para outras matérias-primas graxas.

Figura 7: Evolução das Matérias Primas Utilizadas para a Produção do Biodiesel no Brasil



Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2008)



No contexto global, considerando a perspectiva nacional de que a dimensão e a oportunidade para o mercado do biodiesel permitirão o desenvolvimento de toda a sua cadeia produtiva – possibilitando o surgimento e a evolução de novas empresas no setor – espera-se a contribuição deste programa para o desenvolvimento sustentável e a redução das importações de óleo diesel. Trata-se, sem dúvida, de uma vantagem estratégica para o Brasil.

2. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)

O aumento de veículos a diesel no mercado nacional e o correspondente consumo de óleo diesel caminham na direção oposta à busca da redução da utilização de combustíveis fósseis na matriz energética nacional. Essa situação, aliada à necessidade de importação desse produto, propiciou oportunidade para o desenvolvimento de uma nova indústria no cenário nacional: a cadeia de produção e uso do biodiesel.

O Brasil apresenta reais condições para se tornar um importante produtor de biodiesel no mundo, por dispor de excelentes condições para a produção de matéria-prima, podendo assegurar o suprimento interno, além do grande potencial de exportação.

A Presidência da República instituiu, em 2 de julho de 2003, um Grupo de Trabalho Interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de biodiesel como fonte alternativa de energia. Como resultado, o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) foi instituído pelo Presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, em 6 de dezembro de 2004, como ação estratégica e prioritária para o Brasil.

A gestão do PNPB compete à Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel (CEIB), que definiu o plano de trabalho do programa.

A Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, introduz o biodiesel na matriz energética brasileira e estabelece a obrigatoriedade de adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado em qualquer parte do território nacional. Esse percentual obrigatório atingirá a meta de 5%, em 2010.

O marco regulatório que autorizou o uso comercial do biodiesel no Brasil considerou a diversidade das matérias-primas disponíveis no país, a garantia do suprimento e da qualidade, a competitividade frente aos demais combustíveis e uma política de inclusão social com características voltadas para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil.

As regras permitem a produção do biodiesel a partir de diferentes matérias-primas e rotas tecnológicas, possibilitando a participação da agricultura familiar, incentivada com a criação do Selo Combustível Social.

3. Programa de Testes e Ensaios em Motores com Combustível B5

No âmbito do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, o módulo de Desenvolvimento Tecnológico é coordenado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), cujo escopo é a articulação dos diversos atores envolvidos na pesquisa, desenvolvimento e inovação da cadeia produtiva do biodiesel, promovendo a convergência de esforços e a otimização de investimentos públicos.

Uma das ações em execução é o desenvolvimento do Programa de Testes e Ensaios com Motores (veiculares e estacionários), que objetiva avaliar a viabilidade técnica do aumento gradativo de misturas de biodiesel ao diesel, bem como a validação da mistura B5 (5% de biodiesel no óleo diesel) para o mercado consumidor.

A realização de testes e ensaios com a mistura B5, juntamente com os fabricantes de motores, veículos e autopeças, é necessária para assegurar ao consumidor final a manutenção das garantias comerciais de veículos e equipamentos. A avaliação do uso de misturas com outros percentuais de biodiesel, como por exemplo, 20% (B20), é importante para o uso de frotas cativas e para subsidiar decisões referentes à ampliação do uso do biodiesel no país com requisitos de segurança.

O Programa de Testes e Ensaios com Motores e Veículos, sob a coordenação do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), foi estruturado para a realização de avaliações laboratoriais e em campo, com misturas de biodiesel ao diesel.

O referido programa é gerido por uma comissão técnica, apresentada no item 11 deste documento, e conta com a participação do Ministério de Minas e Energia (MME), Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Ministério do Meio Ambiente (MMA)/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Ibama), Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea) e Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (Sindipeças), além de institutos de pesquisa e universidades.

O planejamento, o monitoramento e a avaliação dos resultados de todos os testes e ensaios são realizados sob a responsabilidade da comissão e sob acordos de cooperação técnica específicos para cada projeto.

O programa de testes foi idealizado para ser realizado em duas etapas: testes em banco dinamométrico e em frota veicular dedicada.

O teste em banco dinamométrico tem o intuito de avaliar os limites de misturas compatíveis com os motores atuais e seus desempenhos, emissões e durabilidade acelerada. Os testes em frotas veiculares visam avaliar o desempenho, funcionalidade, compatibilidade de materiais e integridade de componentes de motores e de todo o circuito de combustível dos veículos em suas condições normais de uso.

Assim, o programa de testes em frotas, como ilustrado na Tabela 1, foi estruturado em função dos tipos de sistemas de injeção de combustível, por ser o sistema mais sensível ao tipo de qualidade dos combustíveis, hoje distribuídos entre as tecnologias “Common Rail”, as unidades de injeção “Unit Injector System” e “Unit Pump System”, e a Bomba Rotativa. Estes sistemas foram e estão sendo avaliados com tecnologias de motores Scania, Mercedes-Benz, MWM, Ford, Volkswagen, Fiat e Cummins.

Os ensaios em banco dinamométrico foram realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo e pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec), de Curitiba. Os testes em frota ocorreram nas cidades de São Paulo-SP, Ribeirão Preto-SP, Rio de Janeiro-RJ, Salvador-BA, Cascavel-PR e Catanduva-SP, sendo operacionalizados com misturas de biodiesel ao diesel de base de soja ou mamona.

Tabela 1: Mapa dos testes em frota cativa com a mistura B5

Sistema de Injeção de Combustível	Testes		Participantes			Acompanhamento		Combustível		Veículos		
	Cidade	Organizador	Frota	Fabricantes	Monitoramento	Situação do Custeio	Diesel	Biodiesel	Mamona	Soja	Sombra	
Common Rail	Rio de Janeiro	Volkswagen SECT/RJ	Real Engermix	Bosch, Volkswagen, Cummins, MWM, Continental	INT, COPPE	Petrobras/ SEC T/RJ + empresas	Shell	Ladatel COPPE	3 Caminhões Urbanos	1 Ônibus Urbano	1 Ônibus Urbano 1 Caminhão Urbano	
	Salvador	Secti/BA	Unifacs	Ford, Continental	UNIFACS / Petrobras	Secti/BA + empresas	BR	Unifacs	2 Caminhonetes	2 Caminhonetes	2 Caminhonetes	
UIS	Cascavel	Tecpar / Scania	Rodomax	Scania, Bosch	Tecpar	Probiodiesel + empresas	BR	Brasil Ecodiesel	2 Caminhões Rodoviários	2 Caminhões Rodoviários	2 Caminhões Rodoviários	
UPS	São Paulo	Tecpar / MBBras	Viação Cidade Dutra	Mercedes Benz, Bosch	Tecpar	Probiodiesel + empresas	Shell	Brasil Ecodiesel	-	6 Ônibus Urbanos	2 Ônibus Urbanos	
ROTATIVA	Ribeirão Preto	Ladatel	Cia. Bebidas Ipiranga	Volkswagen, Cummins, MWM, Fiat, Bosch	IPT, Ladatel	USP + empresas	Esso	Ladatel	6 Caminhões Urbanos	6 Caminhões Urbanos	3 Caminhões Urbanos	
Máquina Agrícola (Rotativa)	Catanduva	Ladatel*	Usina Catanduva	Delphi, Valtra	Texaco / Ladatel	USP + empresas	Texaco	Ladatel	1 Trator	1 Trator	1 Trator	

4. Metodologia Aplicada nos Testes

4.1. Testes em Frota

A metodologia para a realização dos testes em frota cativa foi fundamentada nos seguintes termos:

1. Identificação do objeto de teste – caracterização dos veículos, motores e sistemas de alimentação;
2. Identificação da situação de teste – parâmetros relevantes obtidos a partir do perfil de operação dos veículos;
3. Identificação do referencial de teste – variáveis relevantes a serem consideradas;
4. Seleção das variáveis a serem medidas em cada tipo de teste, considerando a premissa da comparação direta entre resultados;
5. Realização dos testes, obtenção e processamento dos valores das variáveis relevantes selecionadas;
6. Análise crítica dos resultados;
7. Elaboração do Relatório Final.

Para o desenvolvimento da metodologia, foi adotado o método de análise comparativa direta entre veículos operados com as misturas B5 e com óleo diesel comercial, tanto no que se refere ao desempenho, quanto à durabilidade de seus sistemas e componentes.

Aspectos como o consumo de combustível, de óleo lubrificante, quilometragem acumulada, horas de utilização, dirigibilidade, manutenção e durabilidade dos componentes durante a operação dos veículos foram registrados para avaliação comparativa dos eventos.

Assegurando a avaliação dos testes, o uso experimental das misturas B5 foi monitorado segundo orientação das atividades básicas a seguir:

1. Monitoramento da qualidade do B100, com a realização da caracterização físico-química de acordo com os parâmetros das Resoluções ANP 42/2004 e 07/2008;

2. Monitoramento da qualidade da mistura B5, com a realização da caracterização físico-química de acordo com os parâmetros da Resolução ANP 15/2005 para o diesel comercial;
3. Avaliação dos procedimentos de preparação, distribuição e estocagem dos combustíveis empregados no teste;
4. Monitoramento do consumo de combustível e óleo lubrificante por veículo e frota, constituído a partir do banco de dados operacional da frota usuária;
5. Monitoramento das características do óleo lubrificante segundo os parâmetros de viscosidade, TBN, oxidação, nitração, sulfatação, fuligem, teor de água, diluição e metais de desgaste;
6. Monitoramento de possíveis alterações do desempenho e velocidade média dos veículos;
7. Avaliação da emissão de fumaça em campo, segundo a metodologia NBR 13037;
8. Monitoramento das intervenções de manutenção no motor e sistema de injeção de combustível dos veículos envolvidos no teste, avaliando os itens listados a seguir:
 - 8.1 Tanque de combustível;
 - 8.2 Linhas de transferência de combustível;
 - 8.3 Sistema de injeção de combustível;
 - 8.4 Motor quanto a vazamentos de óleo, água e ou gases;
 - 8.5 Exame intermediário com videoscopia de partes internas do motor;
 - 8.6 Qualidade do óleo lubrificante;
 - 8.7 Pré-filtros e filtros de combustível e lubrificante;
 - 8.8 Bomba d'água e sistema de arrefecimento;
 - 8.9 Filtro de ar e tubo alimentador.

As referências internacionais quanto às propriedades do biodiesel, dadas pelas normas européia (PR EN 14.214) e a norteamericana (ASTM D 6751), associadas a todas as experiências brasileiras, fundamentaram as Resoluções ANP 42/2004 e 07/2008. A partir dessas especificações, foi definida a qualidade do B100 para todo o Programa de Testes e Ensaios em Motores.

Este foi um pré-requisito para a garantia da qualidade do biodiesel e o sucesso do programa.

4.2. Testes em Banco Dinamométrico

Para os testes em banco dinamométrico, foram definidos que os parâmetros de desempenho e emissão de poluentes seriam medidos em relação ao óleo diesel metropolitano, em comparação com o biodiesel etílico e metílico, produzido a partir de óleo de soja e de óleo de mamona.

Inicialmente, foram selecionados dois motores de ciclo diesel produzidos no Brasil, com diferentes tecnologias de sistema de injeção: um de tecnologia Mercedes-Benz e sistema de injeção "UPS", de tecnologia Bosch; e outro de tecnologia MWM, com sistema de injeção "Common Rail", também de tecnologia Bosch.

Essa seleção levou em consideração a representatividade dos motores no mercado nacional, o interesse de seus fabricantes em cooperarem no desenvolvimento deste estudo e o potencial de maior dificuldade da tecnologia do sistema de injeção para se adaptar ao uso do biodiesel. Foram priorizados motores de injeção direta com rotações mais elevadas.

Para todos os combustíveis foram utilizados lotes únicos, evitando-se variações de qualidade que pudessem interferir nos resultados.

Para o biodiesel de soja foram exploradas as misturas de 5%, 20%, 50%, além do biodiesel puro (B100). Para o biodiesel de mamona, foram exploradas as misturas de 2%, 5% e 20%.

Os ensaios foram realizados com base nas normas brasileiras NBR ISO 1585 "Veículos Rodoviários – Código de ensaio de motores – Potência Líquida Efetiva"; ABNT MB 1615 "Gás de Escapamento Emitido por Motor Diesel – Medição de Teor de fuligem com Amostrador por Elemento Filtrante" (Grau de Enegrecimento Bosch), e NBR 14489 "Motor Diesel – Análise e Determinação dos Gases e do Material Particulado Emitidos por Motores do Ciclo Diesel – Ciclo de 13 pontos". Para assegurar a representatividade estatística dos resultados, foram realizados, no mínimo, três conjuntos de medidas para cada combustível.

Os resultados foram emitidos por comparação entre momento de força, consumo de combustível e fumaça em função da rotação, a partir dos resultados do teste de desempenho. Também foram obtidos por comparação entre emissões específicas de hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP), conforme resultados do ensaio de treze modos.

5. Caracterização e Resultados dos Testes em Frota com o Combustível B5

5.1 Considerações

Uma das grandes vantagens do biodiesel é sua adaptabilidade aos motores já existentes de ciclo diesel. O uso das misturas de biodiesel ao óleo diesel aprovadas dispensa alterações nos motores, fornecendo uma alternativa de combustível renovável capaz de atender a toda a frota hoje movida a óleo diesel.

Outro fato importante é a potencialidade do biodiesel para reduzir a emissão, nos centros urbanos, de fumaça preta e material particulado (MP), que são uma preocupação inerente aos motores diesel, especialmente, os antigos. Simultaneamente, são reduzidas as emissões de HC não queimados e CO, que podem ser atribuídas à presença de oxigênio na composição do biodiesel. Entretanto, o oxigênio e outras características do biodiesel podem também aumentar as emissões de NOx.

Por outro lado, em função de o conteúdo energético do biodiesel puro (B100) ser cerca de 11% menor do que o de óleo diesel, ocorre uma pequena perda de potência dos motores, em aproximadamente 5 a 7% na potência máxima, que varia proporcionalmente à porcentagem do biodiesel misturado ao óleo diesel.

Em função das especificidades do biodiesel brasileiro, que pode ser produzido a partir de várias matérias-primas, há insuficiência de dados experimentais como, por exemplo, o comportamento a baixas temperaturas, como também a variação da viscosidade, que é mais acentuada que o óleo diesel.

Coube ainda investigar a compatibilidade com elastômeros, pois houve a necessidade de estudos mais aprofundados, incluindo testes para o monitoramento da durabilidade de componentes específicos do motor, como selos, mangueiras, gaxetas e revestimentos, etc.

Outro parâmetro a ser avaliado nos testes de campo em frota é a estabilidade à oxidação, a qual pode resultar em problemas de armazenagem por longos períodos. Aditivos estão sendo estudados para melhorar as condições de armazenagem e permitir seu uso em uma ampla variação de temperatura.

Em função desse cenário, evidenciou-se a necessidade da realização de testes de campo em frota, para que se pudesse promover a liberação, de forma segura para o mercado consumidor, de misturas com teores acima de 2% de biodiesel ao óleo diesel.

5.2. Projeto Bomba Rotativa

5.2.1. Volkswagen/Fiat/Ford – Bebidas Ipiranga – Ribeirão Preto – São Paulo

5.2.1.1. Apresentação

Para a realização deste teste, foi firmado um acordo específico de co-operação que objetiva a pesquisa e a validação do uso do biodiesel em misturas B5, com as seguintes empresas/instituições parceiras:

1. Volkswagen Caminhões e Ônibus.
2. Fiat Caminhões.
3. Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas da Universidade de São Paulo (Ladetel/USP).
4. MWM-International Indústria de Motores da América do Sul Ltda.
5. Esso Brasileira de Petróleo Ltda.
6. Robert Bosch Ltda.
7. Companhia de Bebidas Ipiranga Ltda.
8. Cummins Engine Company.
9. Mahle Metal Leve S.A.

As características da frota-teste são descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Características da frota da Companhia de Bebidas Ipiranga

Frota-teste	Companhia de Bebidas Ipiranga Ltda.
Veículos-teste	Caminhão Volkswagen motor Cummins e bomba rotativa Fiat – Ducato motor MWM-International e bomba rotativa
Objetivos do teste	Avaliar a influência do biodiesel B5 de soja e mamona a funcionalidade e integridade de motor, sistemas e componentes
Tipo de operação	Entrega de bebidas a revendedores
Tipo de carga	Carga líquida
Tipo da composição	Furgão e caminhão de carga
Fornecedora do B5	Esso e Ladetel
Fornecedora do B100	Ladetel

Os resultados descritos referem-se ao teste em caminhões da marca Volkswagen equipados com motores Cummins e MWM-International, além de vans da marca Fiat Ducato, usando biodiesel etílico de soja e mamona, em proporções de 5%, misturado a 95% de diesel interior. Todos os veículos utilizados no teste são de propriedade da Companhia de Bebidas Ipiranga (engarrafadora da Coca-Cola em Ribeirão Preto) pertencente ao Grupo Biagi.

O posto de abastecimento interno da Companhia de Bebidas Ipiranga passou a fornecer o combustível B5 para toda a frota veicular, composta por 140 veículos, sendo 128 caminhões de carga e 12 vans (Fiat Ducato). Deste total, 18 veículos – objetos do teste – foram segregados para um monitoramento dedicado com sistemas protocolados pelos fabricantes, sendo seis para uso com a mistura B5 de soja, seis para o uso com a mistura B5 de mamona e, ainda, seis para uso dedicado com óleo diesel, denominados de sombra, para terem seus resultados comparados diretamente. O abastecimento dos caminhões sombra (seis veículos) passou a ser realizado em posto de combustível externo.

Na frota da Bebidas Ipiranga (Figura 8), durante o período do teste, foram utilizados um total de 2.232.400 litros das misturas B5, sendo utilizados 108.000 litros de biodiesel etílico de soja e 3.620 litros de biodiesel etílico de mamona, produzidos pelo Ladetel. O biodiesel B100 teve a qualidade aferida com base nas normas PVEN 14214, ASTM D 6751 e ANP 42/2004.

Durante os dezesseis meses do teste (de 16/09/2005 a 30/01/2007), o biodiesel foi transportado até as instalações da Companhia de Bebidas Ipiranga no município (Ribeirão Preto). O teste foi realizado sob autorização da ANP (nº 293/2005).

Os veículos objeto do teste (segregados), das marcas Volkswagen modelos VW 8120 e VW 8140, foram equipados com motores MWM e sistema de injeção com bomba ciclo rotativa modelo VE 4/12 F 1300 R630 de fabricação da Bosch, enquanto os modelos VW 14170 BT e 15170 BT estavam equipados com motores Cummins e sistemas de injeção com bomba ciclo rotativa modelo VE 6/12 F 1300 R 886, também de fabricação da Bosch. Além disso, foram envolvidos no teste de frota segregada cinco vans da marca Fiat Ducato, todas equipadas com motor Fiat 2,8l e sistemas de injeção com bomba ciclo rotativa modelo VE 4/9 F 1900 R812.

Os testes foram realizados em condições reais (normais) de trabalho, seguindo as atividades de rotina de funcionamento do setor de distribuição e transporte da Companhia de Bebidas Ipiranga, incluindo a logística de abastecimento em posto interno fixo.

Figura 8: Caminhão VW Bebidas Ipiranga com B5



5.2.1.2. Desempenho em Frota

Ao final do teste foram contabilizados cerca de 6,9 milhões de quilômetros rodados por toda a frota, sendo que os veículos segregados operaram por cerca de 900 mil quilômetros.

Os resultados dos testes nos 12 veículos segregados operados com B5 foram comparados de forma direta com os resultados obtidos com os seis veículos segregados operados com óleo diesel (sombra).

A análise de consumo de combustível foi avaliada pela equipe da Bebidas Ipiranga, IPT e Ladetel, cujos resultados mostram que não houve variações significativas no consumo comparativo em função do combustível empregado.

Para efeito de estimativa, optou-se por analisar o consumo de todos os veículos (128) envolvidos no teste, comparando com o consumo histórico do ano anterior registrado pela empresa para a mesma frota que empregava exclusivamente o óleo diesel.

Na análise dos dados de consumo comparativo, verificou-se que qualquer variação no consumo esteve dentro da margem de erro do método de avaliação empregado, razão pela qual não se observou alteração significativa no consumo de combustível entre o uso da mistura B5 e do óleo diesel.

Com base nos resultados do teste, não se observou a ocorrência de problemas no sistema de injeção com bomba rotativa mecânica e nem variação na potência do motor com o uso das misturas B5 de soja e de mamona.

5.2.1.3. Avaliação do Motor

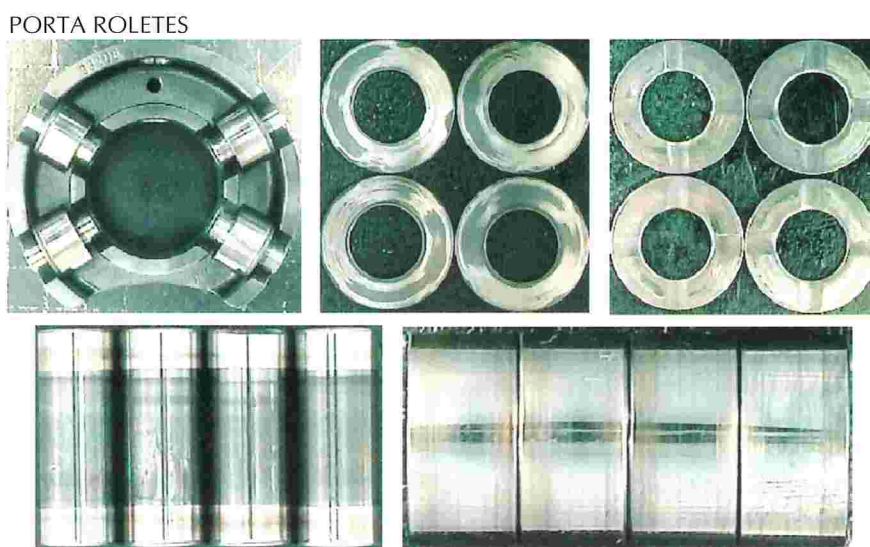
Os motores foram analisados pela Cummins, pela MWM-International e pela Fiat, com acompanhamento da Bosch (bombas injetoras e bicos injetores) para se verificar a influência da utilização de biodiesel sobre a integridade de seus sistemas e componentes.

Após análise detalhada das peças internas do motor e da elaboração das curvas de desempenho, pode-se concluir que a condição de desgaste dos motores que utilizaram biodiesel B5 foi similar àquela observada nos motores dos veículos sombra que utilizaram exclusivamente óleo diesel.

5.2.1.4. Sistema de Injeção de Combustível

Após a análise das peças internas do sistema de injeção (bomba rotativa) que entraram em contato com o combustível B5, observou-se: (i) que não mostraram sinais de oxidação; (ii) uma leve formação de depósitos, considerados normais, independentemente do combustível utilizado; (iii) o escurecimento de componentes com a utilização do biodiesel de mamona devido às suas propriedades físico-químicas, contudo sem ocorrer prejuízo para a função da bomba injetora; (iv) que os desgastes mecânicos observados em peças e componentes, como a pista do came, roletes, eixos e arruelas foram leves e considerados normais para as quilometragens medidas, não tendo relação direta com o uso do biodiesel. Como informação visual do estado dos componentes da bomba injetora, ver Figura 9.

Figura 9: Exemplo de Componentes da bomba injetora Bosch que operou com B5 de soja na situação após teste



Fonte: Robert Bosch

Portanto, os sistemas testados com biodiesel de soja e mamona trabalharam sem qualquer problema por um período superior ao de garantia do fabricante, que é de um ano.

Com base nessa análise, a Bosch concluiu que a utilização da mistura biodiesel B5 de soja não causou qualquer efeito prejudicial do ponto de vista hidráulico ou mecânico na bomba injetora.

Adicionalmente, a análise de materiais realizada através de espectroscopia de infravermelho e por termogravimetria (Hi Res TGA 2950 Thermogravimetric Analyser), pela Fiat, permitiu avaliar a compatibilidade do B5 de soja e mamona com peças provenientes de veículos Ducato 2,8 aspirado. O resultado não apresentou ataque químico ou degradação térmica associados ao contato dos materiais com o combustível B5; portanto, o parecer da Fiat indicou que as tubulações de combustível e seus respectivos materiais podem ser considerados compatíveis com o B5.

Esses resultados levaram a Bosch, MWM-International, Cummins e Volkswagen a aprovar a utilização do biodiesel, éster etílico de óleo vegetal, que atenda aos padrões de qualidade equivalentes àqueles ditados pela Resolução ANP 07/2008, na mistura B5.

A análise periódica dos filtros (a cada troca feita) foi realizada diretamente pelos fabricantes participantes – Cummins Filtros, Mann e Mahle. Os resultados foram obtidos seguindo a rotina de trabalho da distribuição dos produtos da Companhia de Bebidas Ipiranga, não se registrando ocorrência de aumento da restrição de passagem do combustível ou presença de qualquer material estranho depositado no elemento filtrante como decorrência do uso do B5.

5.2.1.5. Parecer

Não houve qualquer consequência negativa no uso de biodiesel B5 de soja ou mamona. Da mesma forma, não pode ser apontada qualquer limitação técnica ao seu uso, desde que sejam atendidos os parâmetros de qualidade das resoluções ANP 15/2005 para o B5 e 42/2004 para o B100. O biodiesel B100 teve a qualidade aferida com base nas normas pr EN 14214 e ANP 42/2004.⁽¹⁾

Para o caso do uso do B5 de mamona, foram estabelecidos protocolos adequados e confiáveis para o armazenamento e transporte de forma a garantir a confiabilidade do seu uso.⁽¹⁾

5.2.2. Valtra – Fazenda Catanduva – Catanduva – São Paulo

5.2.2.1. Apresentação

Para a realização deste teste foi firmado um acordo específico de cooperação que visou a pesquisa técnica e a validação do uso do biodiesel em misturas B5, com as seguintes parcerias:

1 Posteriormente a este teste a ANP emitiu a especificação dada pela Resolução ANP 07/2008, que estabelece limites mais rigorosos para a qualidade do biodiesel B100.

1. Valtra do Brasil.
2. Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas da Universidade de São Paulo (Ladetel/USP).
3. Usina Catanduva S/A Açúcar e Álcool.
4. Sisu Diesel Inc.
5. Delphi Diesel Systems do Brasil.
6. Chevron Brasil Lubrificantes Ltda. (Texaco).
7. Cooperativa dos Cafeicultores e Citricultores de São Paulo (Coopercitrus).
8. Universidade Estadual Paulista (Unesp).

As características da frota teste estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3: Características da frota teste da Usina Catanduva

Frota-teste	Usina Catanduva
Veículos-teste	Trator Valtra modelo BH 180 equipados com motor Sisu Diesel do Tipo 620DSR, com potência de 180cv e sistema de injeção Bomba Rotativa
Objetivos do teste	Avaliar a influência dos biodieseis B5 e B20 de soja e mamona na funcionalidade e integridade do motor, sistemas e componentes
Tipo de operação	Trabalho em lavoura de cana-de-açúcar
Tipo de carga	Variável
Tipo da composição	Reboque geral
Fornecedora do B5	Texaco/Ladetel
Fornecedora do B100	Ladetel

Os resultados referem-se ao teste em máquinas agrícolas (tratores) usando biodiesel etílico de soja e mamona, em proporções de 5% e 20%, misturados a 95% e 80% de diesel interior respectivamente.

Foram utilizados tratores da marca Valtra, modelo BH 180 (Figura 10), equipados com motor Sisu Diesel do Tipo 620DSR, com potência de 180cv, e sistema de injeção “Bomba Rotativa Mecânica DP100”, de fabricação da Delphi Automotive Systems. Os tratores são de propriedade da Usina Catanduva, pertencente ao Grupo Virgolino Oliveira (GVO).

Figura 10: Tratores Valtra, modelo BH 180, de propriedade da Usina Catanduva



Posto de combustível Usina Catanduva



Trator B5 Soja



Trator B20 soja



Tratores B5 e B20 de Soja e B5 mamona

Os testes foram realizados com três tratores agrícolas da marca Valtra em condições reais (normais) de trabalho durante um ano e seis meses e seguindo as atividades de rotina de funcionamento da área agrícola da Usina Catanduva, incluindo a logística de abastecimento em posto "móvel", com a utilização de tanques de 1.000 litros para a estocagem das misturas B5 e B20 de biodiesel de soja e mamona. O teste foi realizado sob autorização da ANP (nº 281/2005).

Na frota da Usina Catanduva, durante o período do teste, foram utilizados um total de 233.764 litros das misturas B5 e B20, sendo utilizados 17.700 litros de biodiesel etílico de soja e 4.200 litros de biodiesel etílico de mamona, produzidos pelo Ladetel. O biodiesel B100 teve a qualidade aferida com base nas normas pr EN 14214 e ASTM D 6751 e ANP 42/2004.

5.2.2.2. Desempenho em Frota

Os testes em tratores com as misturas B5 e B20 foram realizados para se ter uma comparação direta entre os resultados obtidos com os

tratores com biodiesel e seus pares com óleo diesel, denominados de sombra.

A análise de consumo de combustível demonstrou que não houve variações significativas no consumo e desempenho comparativos em função dos combustíveis empregados (B5 e B20), sempre que comparadas às mesmas operações realizadas (aração, subsolagem, gradagem).

5.2.2.3. Avaliação do Motor

Ao final do teste foram contabilizadas 15.470 horas e 8.683 hectares trabalhados, com os tratores monitorados e usando as diferentes misturas de biodiesel (B5 soja, B5 mamona e B20 soja), além do diesel interior.

Os motores usados nos testes foram enviados para as instalações da Valtra em Mogi das Cruzes e desmontados com a supervisão da Sisu Diesel (Figura 11), com o objetivo de se analisar a influência da utilização de biodiesel nos motores quanto à integridade dos seus sistemas e componentes.

Figura 11: Desmontagem do motor Sisu Diesel testado com B20 Soja na sede da Valtra



A análise completa foi realizada em conjunto com a Delphi, para a qual foram enviados os sistemas de injeção, incluindo bombas injetoras e os bicos injetores correspondentes. A Delphi também trabalhou na análise periódica dos filtros.

Atingiu-se uma média aproximada de 3.900 horas de trabalho em cada trator. Concluiu-se que a condição de desgaste das peças e componentes dos motores que utilizaram biodiesel nas proporções testadas foi similar àquela observada nos motores do trator sombra que utilizaram exclusivamente óleo diesel (Figuras 12, 13 e 14).

Figura 12: Bloco do motor sem danos



Figura 13: Mancais do bloco do motor e árvore de manivelas normais e sem danos



Figura 14: Eixo dos balanceiros em estado normal



Em relação aos desgastes mecânicos observados em peças e componentes, os mesmos podem ser considerados normais ao funcionamento dos motores, não sendo relacionados ao uso do biodiesel.

Da mesma forma, a pequena formação de “borra” na região interna da tulipa da válvula de admissão ocorreu tanto nos motores com biodiesel como naquele com óleo diesel, porém sem afetar em caso algum o desempenho do sistema.

5.2.2.4. Sistema de Injeção de Combustível

Na avaliação dos resultados e das observações técnicas em relação ao sistema de injeção, os sistemas que rodaram com biodiesel de soja (B5 e B20) apresentaram comportamento normal. Portanto, os sistemas testados com biodiesel de soja operaram normalmente por um período superior ao de garantia do fabricante, que é de um ano.

Algumas ocorrências observadas foram comuns aos motores que usaram diesel ou biodiesel, tais como: (i) a alteração na curva de torque do motor; (ii) a queda de pressão de ajuste nos bicos injetores.

O aspecto visual dos componentes internos das bombas injetoras pode ser observado nas Figuras 15, 16 e 17.

Figura 15: Bomba rotativa Delphi, trator Valtra – governador mecânico após teste



Figura 16: Bomba rotativa Delphi, trator Valtra – região interna do cabeçote hidráulico



Figura 17: Bomba rotativa Delphi, trator Valtra – Anel de ressaltos e caixa de avanço



As únicas diferenças que podem ser apontadas são a influência causada pelo uso do biodiesel na remoção da proteção bicromatizada de peças internas da bomba injetora, fato que não foi observado na bomba que utilizou diesel puro (sombra), além da presença de pequenos depósitos leves e escuros na região do rotor do cabeçote hidráulico, não havendo, porém, influência negativa na funcionalidade ou performance do sistema.

Os resultados levaram tanto a Sisu Diesel como a Valtra a aprovar a utilização do biodiesel (éster etílico de óleo vegetal) que atenda aos padrões

de qualidade equivalentes àqueles empregados neste teste, em uma proporção de até 20% misturado ao diesel de petróleo (B20). Essa utilização do biodiesel B20 estende-se a toda a família de motores Sisu Diesel, incluindo os motores 634, 620, 420 e 320, sem alteração de qualquer componente ou período de troca do óleo lubrificante especificado.

As únicas ressalvas feitas neste programa de testes em tratores encontram-se no sistema de injeção que trabalhou com a mistura B5 de mamona. Embora este sistema tenha operado por um período superior à garantia de um ano do fabricante (Delphi), o equipamento de injeção (bomba rotativa) em questão não concluiu o teste pelo período de 18 meses, como ocorreu com as demais bombas que trabalharam com o derivado de soja. A bomba trabalhou durante 3.563 horas, quando parou por quebra do sistema de injeção. Observou-se, após a abertura do mesmo, um desgaste excessivo no rolete e nas sapatas, assim como também no anel de ressalto, fato que é típico da falta de lubrificação.

O desgaste acentuado foi comprovado por análise visual (fotográfica) e metalográfica, sendo decorrente de atrito metal-metal sob carga, provocando um superaquecimento localizado, que resultou em abaixamento da dureza do material em determinadas áreas, provocando desgaste na superfície sob análise. Isto poderia ser ocasionado pela contaminação por impurezas metálicas, entre a sapata e o rolete, que teriam gerado atrito metal-metal; corrosão química causada pela presença de ácidos graxos derivados da decomposição hidrolítica do biodiesel de mamona, devido à presença de água no sistema; ou ação de bactérias, provocando a decomposição desse biodiesel.

A avaliação dos filtros de combustível empregados, da marca Delphi, não apresentou diferença significativa em seu processo de filtragem que pudesse indicar qualquer efeito relacionado ao tipo de combustível empregado, seja diesel de petróleo, B5 de mamona, B5 ou B20 de soja, uma vez que não ocorreu qualquer reação química com componentes externos e/ou internos dos filtros.

Apesar do fato isolado referido, os outros desgastes mecânicos observados foram considerados normais ao funcionamento dos sistemas, não sendo relacionado ao uso do combustível teste (B5 ou B20).

5.2.2.5. Parecer

Com base nos resultados obtidos no teste, não foram observados problemas no sistema de injeção com bomba rotativa mecânica utilizando misturas B5 e B20 de soja, sendo que o consumo de combustível pôde ser con-

siderado, no mínimo, igual ao consumo durante a operação com óleo diesel, não ocorrendo nenhuma variação na potência do motor.

Não pôde ser apontada qualquer limitação técnica ao uso destas misturas, desde que sejam atendidos os parâmetros de qualidade da Resolução ANP 15/2005 para o B5 e 42/2004 para o B100. O biodiesel B100 teve a qualidade aferida com base nas normas Pr EN 14214 e ANP 42/2004.

Para o caso do uso do B5 de mamona recomenda-se estabelecer protocolos adequados e confiáveis para o armazenamento e transporte, de forma a garantir a confiabilidade do seu uso.²

5.3. Projeto Unit Pump System (UPS)

5.3.1 Mercedes-Benz – Viação Cidade Dutra – Cidade Dutra – São Paulo

5.3.1.1. Apresentação

Para a realização deste teste foi firmado acordo específico de cooperação técnica, que visou a pesquisa técnica e a validação do uso do biodiesel em mistura B5, com as seguintes parcerias:

1. Viação Cidade Dutra Ltda.
2. Brasil Ecodiesel Indústria e Comércio de Óleos Vegetais e Biocombustíveis Ltda.
3. Shell Brasil Ltda.
4. Robert Bosch Ltda.
5. Hengst Indústria de Filtros Ltda.
6. Parker Hannifin Indústria e Comércio Ltda.
7. Mahle Metal Leve S.A.
8. Mercedes-Benz do Brasil.
9. Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Combustíveis Alternativos (Probiodiesel).
10. Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar).

As características da frota-teste estão descritas na Tabela 4.

² Posteriormente a este teste, a ANP emitiu a especificação dada pela Resolução ANP 07/2008 que estabelece limites mais rigorosos para a qualidade do biodiesel B100.

Tabela 4: Características da frota-teste da Viação Cidade Dutra

Frota teste	Viação Cidade Dutra
Veículos-teste	Ônibus Mercedes-Benz modelo OF1417 equipados com motor OM904 LA 130kW e sistema de injeção UPS (Unit Pump System)
Objetivos do teste	Avaliar a influência do biodiesel B5 de soja na funcionalidade e integridade de motor, sistemas e componentes
Tipo de operação	Transporte coletivo
Tipo de carga	Pessoas
Tipo da composição	Ônibus urbano
Fornecedora do B5	Shell
Fornecedora do B100	Brasil Ecodiesel

O teste de campo em São Paulo foi realizado na frota da Viação Cidade Dutra, com veículos de tecnologia Mercedes-Benz. Esses testes foram previamente autorizados pela Agência Nacional do Petróleo, Bio-combustíveis e Gás Natural (ANP), sob a Autorização nº 287, de 10 de outubro de 2006.

O teste teve como objetivo avaliar o comportamento dos motores eletrônicos com sistema de injeção tipo “UPS” (Unit Pump System) com uso de combustível biodiesel B5 de soja, em duas condições:

1. Banco de provas com motores OM904LA Conama Fase P5 (Euro3);
2. Aplicação veicular com motores OM904LA Conama Fase P5 (Euro3) novos e OM904LA Conama fase P4 (Euro2) usados em trecho urbano.

Os testes foram realizados por comparação entre motores que rodaram com o combustível diesel S500 (Resolução ANP 12/2005) e com biodiesel com mistura B5 de soja obtido via rota metálica (Resolução ANP 042/2004). Foram organizados e suportados pelos parceiros apresentados a seguir, com suas respectivas responsabilidades.

A Viação Cidade Dutra disponibilizou oito ônibus urbanos, modelo OF1417 de fabricação Mercedes-Benz (Figura 15), equipados com motores OM904 LA 130kW e sistema de injeção UPS (Unit Pump System) da Robert Bosch. Outros detalhes da frota estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Veículos disponibilizados pela Viação Cidade Dutra

Condição inicial de teste								
Veículos OF 1417			Motores OM904LA 130kW			Sistema de Injeção	Combustível Tipo	Mercado Foco
Prefixo	Data	km	Inicial	h	Emissões			
61.227	4-ago-06	433.232	zero	zero	Conama P5 (Euro3)	Peças Novas Protocoladas	Biodiesel B5	Produção após jan/2004
61.228	4-ago-06	443.775	zero	zero				
61.238	8-ago-06	269.699	269.699	17.501	Conama P4 (Euro2) (*)	Peças Usadas Protocoladas	(5% Ester + 95% Diesel S500)	Produção jan/1998 a Dez/2004
61.239	9-ago-06	253.005	253.005	18.792				
61.263	22-ago-06	356.853	356.853	20.961				
61.304	5-set-06	348.192	348.192	22.121				
61.240 (sombra)	19-set-06	290.426	290.426	21.270			Diesel S500 (100%)	
61.645 (sombra)	13-set-06	367.290	367.290	22.388				

(*) 6 motores OM904LA com km original e que não sofreram reparação/retífica anterior ao teste
 8 veículos OF1417 ano 2001 aplicação urbana
 Biodiesel base óleo de soja e rota metilica – conforme ANP 042/2004
 Diesel S500 - Conforme ANP 012/2005

Figura 15: Veículo prefixo 61.227 da Viação Cidade Dutra utilizado no teste com B5



Na Figura 16 está ilustrada a infraestrutura de abastecimento para o teste, que foi disponibilizada pela Shell Brasil, sendo um tanque com capacidade de 15 mil litros para armazenamento exclusivo da mistura B5.

Para a produção da mistura do B5, a Viação Cidade Dutra recebeu o combustível B100, adquirido diretamente da Brasil Ecodiesel, através do projeto Probiodiesel.

A mistura foi produzida pela Viação Cidade Dutra, com acompanhamento e análise da Shell, segundo normas oficiais vigentes no Brasil.

Figura 16: Infraestrutura de abastecimento da mistura B5 na Viação Cidade Dutra



5.3.1.2. Desempenho em Frota

Os testes, realizados no período de agosto de 2006 a junho de 2007, totalizaram 421.170 quilômetros rodados, com um consumo total de 175.997 litros de B5. Segue na Tabela 6 a quilometragem acumulada por veículo.

Tabela 6: Perfil do testes B5 Mercedes-Benz

Veículos com B5 (rota metilica/soja)	Motor versão Euro 3	Sistema Injeção	Acumulado Motor			Vel. média (km/h)	Volume B5 Acumulado (L)	Volume B100 Acumulado (L)	Consumo de comb. (L/100km)
			(km)	(h)	(meses)				
OF1417- 6 1227	Motor novo Euro 3		54.046	3.184	7	17,0	23.468	1.173	43,4
OF1417- 6 1228			53.822	3.271	8	16,5	22.859	1.143	42,5
Total B5 - Euro3			107.868	6.455	-	16,7	46.327	2.316	42,9
OF1417- 6 1238	Euro 2	Novo	57.524	3.392	8	17,0	24.328	1.216	42,3
OF1417- 6 1239			52.163	3.303	9	15,7	21.261	1.063	40,8
OF1417- 6 1263	Euro 2	Revisado	60.002	3.637	9	16,5	24.485	1.224	40,8
OF1417- 6 1304			41.370	2.548	7	16,2	17.591	880	42,5
Total B5 - Euro 2			211.059	12.880	-	16,4	87.665	4.383	41,5
Total Geral B5			318.927	19.335	-	16,5	133.992	6.700	42,0
Veículos (sombra) Diesel S500			(km)	(h)	(meses)	(km/h)	S500 (L)	(L)	(L/100km)
OF1417- 6 1240	Euro 2	Revisado	51.246	3.160	8	16,2	21.142	0	41,3
OF1417- 6 1645			50.997	3.024	8	16,9	20.863	0	40,9
Total Geral Diesel S500			102.243	6.184	-	16,5	42.005	0	41,1
Total Geral do Teste			421.170	25.519	-	-	175.997	6.700	-

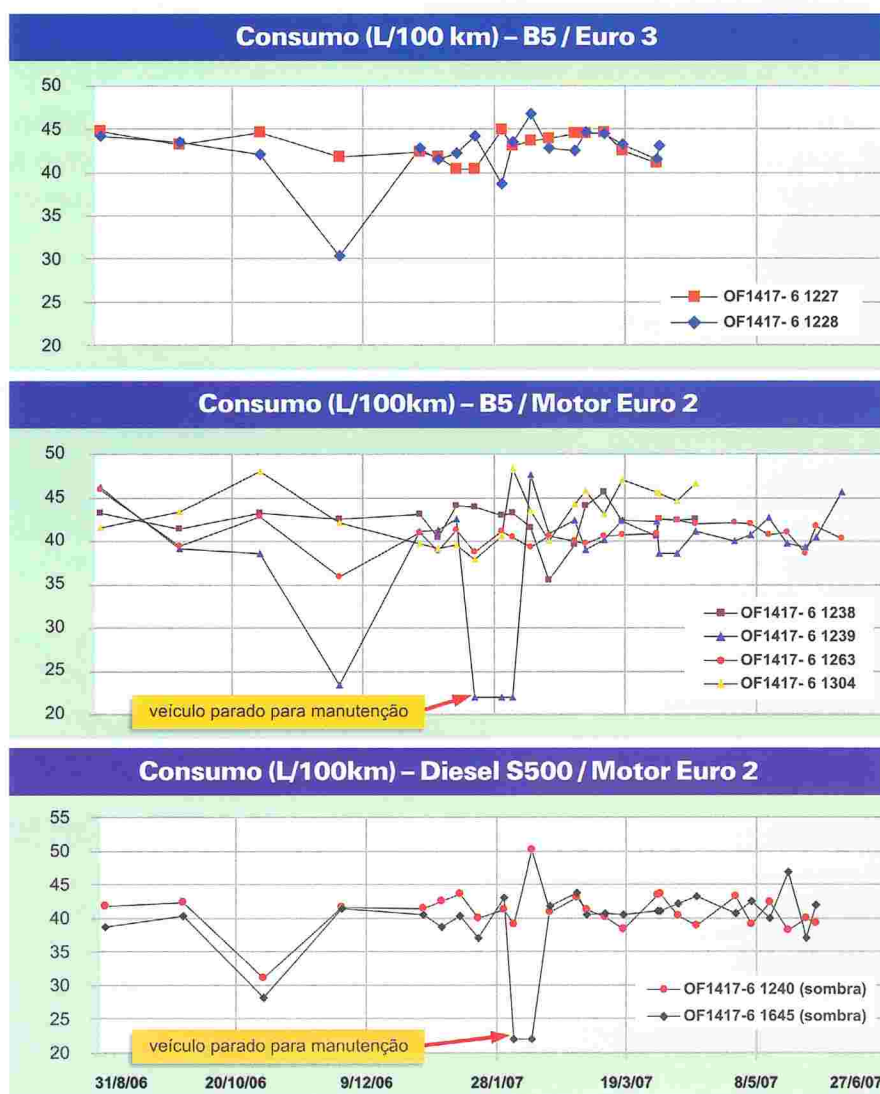
Pref. 61239 – Substituído bloco por novo devido a falha pré-existente ao teste, mantido mesmo sistema de injeção
Base 19/6/2007– Final teste B5

O consumo médio de combustível dos motores OM904 LA Conama Fase P4 com B5 variou na faixa de 0 a 2,2% em relação ao óleo diesel (Figura 17).

Na comparação da média de consumo de combustível dos motores Conama Fase P5, com B5 e dos motores Conama Fase P4, com óleo diesel, os valores foram maiores, na ordem de 4,2 %.

Essa faixa é considerada aceitável por existirem diferenças entre os valores de rodagem, forma de abastecimento, pessoas transportadas (carga), condições de tráfego (velocidade média) e principalmente entre motores homologados por legislações diferentes.

Figura 17: Consumo de combustível



A dirigibilidade dos veículos não foi afetada com o uso do B5, conforme a Viação Cidade Dutra informou, com base no relato de seus motoristas durante o período de teste.

5.3.1.3. Avaliação do Motor

Nas avaliações feitas nos componentes dos motores não foi constatada formação de borra, verniz, carvão ou qualquer desgaste que pudesse ser associado ao uso do B5.

Nas Figuras 18, 19, 20 e 21, a seguir, pode-se verificar que a parte superior (balancins, tampa de válvula) e inferior do motor (cárter, região interna do motor) mantiveram-se em bom estado e não foram constatadas formações de borra em nenhum dos componentes em contato com óleo lubrificante, comprovando a integridade do motor após o uso do B5, comparado ao óleo diesel.

Figura 18: Conjunto de balancins

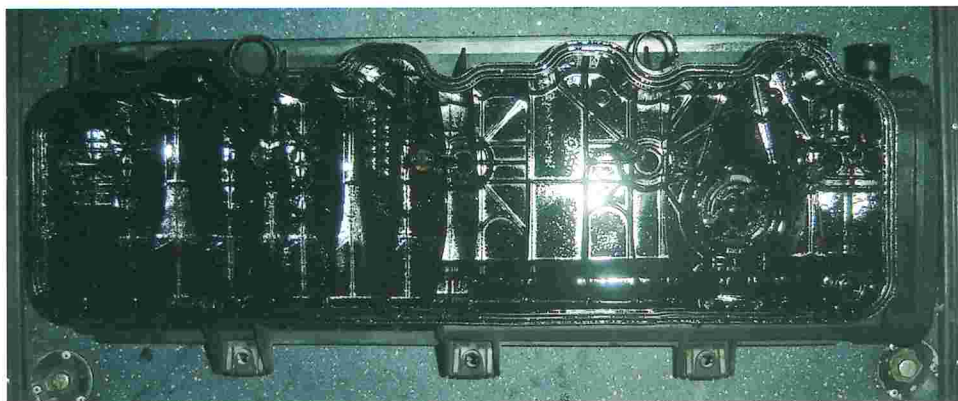


B5 com 57.524 km

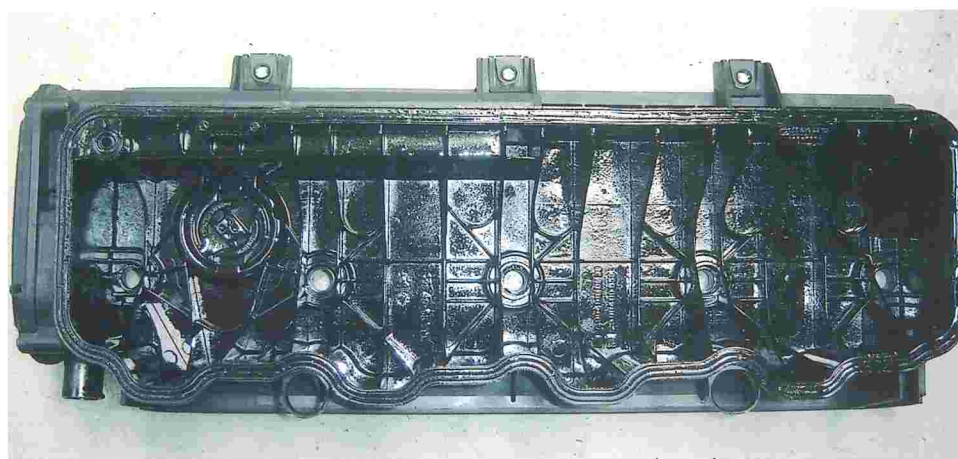


S500 com 51.246 km

Figura 19: Tapa de válvulas



B5 com 57.524 km



S500 com 51.246 km

Figura 20: Parte inferior do motor



B5 com 54.046 km

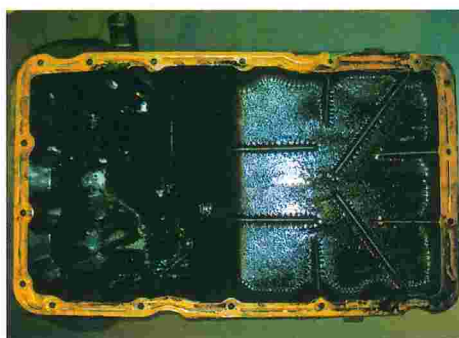


S500 com 51.246 km

Figura 21: Cárter



B5 com 54.046 km



S500 com 50.997 km

Segue, nas Figuras 22, 23, 24, 25, 26 e 27, a avaliação interna do motor realizada com videoscópio, através de comparativo do início e final dos testes com B5, em que o interior do motor (cilindro, pistão, válvulas), manteve-se em bom estado e não apresentou a formação de depósitos de carvão, verniz ou desgastes nos cilindros (zona de fogo e inversão dos anéis), pistões (topo) e válvulas (face de assentamento).

Figura 22: Cilindro, zona de fogo e inversão dos anéis



Antes do início do teste do B5/269.699 km do motor



Final do teste B5/327.223 km do motor

Figura 23: Pistão no PMI – Brunimento e topo do pistão



Figura 24: Cilindro, brunimento e topo do pistão



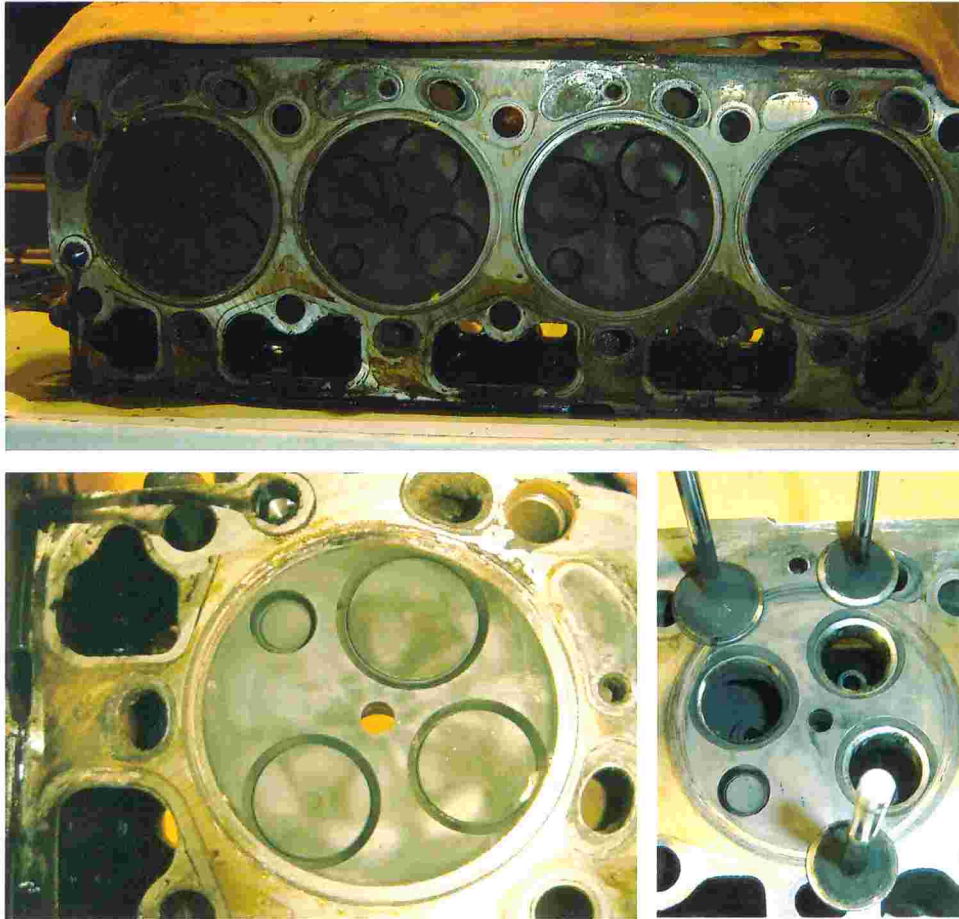
Figura 25: Bronzinas da biela e do mancal



Figura 26: Conjunto de bicos injetores



Figura 27: Conjunto de cabeçote e válvulas de admissão e escape



Como ilustrado nas Figuras 28, 29, 30 e 31, não foi verificado ataque químico nos componentes do motor em contato direto com B5 (unidade injetora, canetas e tubos de alta pressão).

Figura 28: Parafuso oco do sistema de combustível



Figura 29: Tubos de alta pressão



Figura 30: Conexão de alta pressão



Figura 31: Unidade injetora (Steckpumpe)



A análise visual dos elastômeros do motor em contato com o combustível B5 (anel o'ring no sistema de injeção) e com o óleo lubrificante (anel o'ring da bomba de óleo, retentor dianteiro/traseiro e vedação da tampa de

válvulas) indicou comportamento normal, sem ressecamento ou deformação (Figuras 32, 33 e 34).

Figura 32: Anéis o'ring da Unidade injetora, do tubo de alta pressão e dos bicos injetores

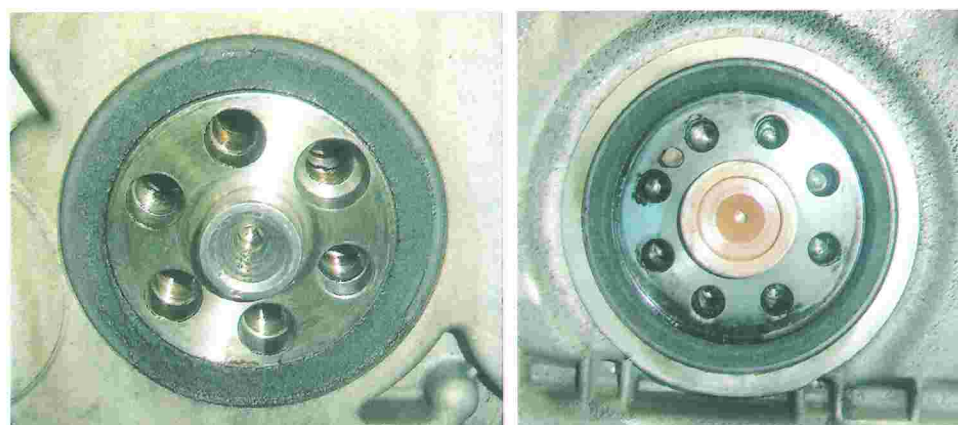


Motor após 57.524 km rodados com B5

Figura 33: Anéis o'ring da bomba de óleo e junta de borracha da tampa de válvulas



Figura 34: Retentor dianteiro e retentor traseiro



5.3.1.4. Sistema de Injeção de Combustível

As análises realizadas através de esteroscopia nos componentes do sistema de combustível do tanque ao motor, com o uso de biodiesel B5, não apresentaram nenhuma evidência de ataque químico para os seguintes componentes:

1. Tanque de combustível;
2. Tubulações;
3. Conexões;
4. Tampas e bujões;
5. Elementos de vedação;
6. Fixações do tanque;
7. Bóia medidora;
8. Respiro do tanque.
9. Pré-filtro de combustível.

As análises de desempenho efetuadas em 28 elementos do pré-filtro separador de água da linha de combustível, pela Parker Brasil, apresentaram resultados satisfatórios nos testes de inspeção visual: (i) parte interna e externa dos elementos; (ii) restrição dos elementos visando avaliação de obstrução e colapso; (iii) separação da água na restrição final.

As análises efetuadas em 24 elementos do filtro de combustível pela Mahle Brasil apresentaram resultados satisfatórios quanto: (i) inspeção visual no ataque do B5 na parte interna e externa dos elementos; (ii) restrição dos elementos visando avaliação de obstrução e colapso; (iii) ensaio de quantidade de contaminantes retido no papel.

Os oito jogos de "UPS", novos e revisados, apresentaram resultados satisfatórios no uso do B5 nas avaliações e testes realizados pela Robert Bosch, conforme indicações abaixo:

1. Bicos injetores A006 017 16 21 (Conama Fase P4) e A006 017 92 21 (Conama Fase P5)
 - a. Funções e medições;
 - b. Queda de pressão, pulverização, estanqueidade e zunido; e
 - c. Análise visual.
2. Unidade injetora A028 074 69 02
 - a. Calibração de ajuste de débito, pressão e tempo de subido;
 - b. Análise visual de desgaste e cavitação.

Os 25 elementos do filtro de óleo lubrificante foram analisados na Hengst GmbH – Münster, da Alemanha, e não foram constatados problemas nos seguintes testes e análises:

- a) Testes de resistência à vazão;
- b) Testes de estanqueidade de componentes;
- c) Análise visual dos elementos filtrantes; e
- d) Análise dimensional e de conformidade de dobra do meio filtrante.

5.3.1.5. Parecer

Os testes e análises realizados indicaram que, desde que seguidas as recomendações de manutenção dos fabricantes dos motores e sistemas e também quanto à qualidade dos combustíveis (Resoluções ANP 42/2004, 07/2008 e 15/2005), não há restrição de uso para o B5.

5.4. Projeto Common Rail

5.4.1. Ford – Salvador – Bahia

5.4.1.1. Apresentação

Para a realização deste teste foi firmado um acordo específico de cooperação técnica que visou a pesquisa e a validação do uso do biodiesel B5, com as seguintes empresas/instituições parceiras:

1. Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras);
2. Ford Motor Company Brasil Ltda (Ford);
3. MWM-International Indústria de Motores da América do Sul Ltda.;
4. Mahle Metal Leve S.A.;
5. Continental Brasil Indústria Automotiva Ltda.;
6. TI Automotive;
7. Michelin do Brasil;
8. Federação das Indústrias do Estado da Bahia (Fieb);
9. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb);
10. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Governo do Estado da Bahia (Secti); e
11. Universidade Salvador (Unifacs);

As características da frota teste estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7: Características da frota-teste da Ford

Frota-teste	Ford
Veículos-teste	Ford Ranger equipado com motor MWM International modelo NGD 3.0E e sistema de injeção de combustível tipo "Common Rail"
Objetivos do teste	Avaliar a influência do biodiesel B5 de soja e mamona na funcionalidade e integridade do motor, sistemas e componentes
Tipo de operação	Frota dedicada exclusivamente ao teste em regime de comboio
Tipo de carga	Sacos de areia e tanque de combustível adicional – média de 325 kg
Tipo da composição	Caminhonete
Fornecedora do B5	Petrobras Distribuidora
Fornecedora do B100	Petrobras/Cenpes

O teste de campo foi coordenado pela Unifacs, em parceria com a Ford do Brasil e a Petrobras. O objetivo do teste foi utilizar as misturas B5 de mamona e soja (origem metilica) em veículos Ford Ranger, equipados com motores MWM International modelo NGD 3.0E (Figura 35), dotados de sistema de injeção de combustível tipo "Common Rail" da Continental, e assim, avaliar os efeitos destes combustíveis sobre os elementos dos motores e também nos componentes do sistema de combustível.

Os testes de campo foram realizados com seis caminhonetes, percorrendo 100.000 km por veículo, circulando em comboio. Desse total, dois veículos utilizaram B5 de soja, dois B5 de mamona e dois óleo diesel, para servir como parâmetro de comparação (sombra).

Os veículos foram identificados de acordo com o combustível utilizado, adotando-se os seguintes códigos:

- R1D: Ranger 1 – óleo diesel;
- R2B5S: Ranger 2 – B5 de soja;
- R3B5S: Ranger 3 – B5 de soja;
- R4D: Ranger 4 – óleo diesel (veículo líder do comboio);
- R5B5M: Ranger 5 – B5 de mamona;
- R6B5M: Ranger 6 – B5 de mamona.

Figura 35: Ford Ranger, equipado com motor MWM International, modelo NGD 3.0E



Foram utilizados softwares e equipamentos de monitoramento e rastreamento dos veículos (Figura 36) que permitiram acompanhar o deslocamento do comboio, mantendo comunicação em tempo real com a coordenação do projeto. Também foi possível o monitoramento das variáveis de velocidade e rotação do motor, em intervalos de até um segundo, durante todo o período do percurso, sendo estes dados recolhidos semanalmente por meio dos tacógrafos instalados nos veículos.

Figura 36: Tacógrafo (à esquerda) e sistema de telemetria via satélite



Conforme concepção original, os veículos foram equipados com dois tanques metálicos de 20 litros, utilizados para preparação das misturas e com um compartimento para armazenamento das amostras colhidas durante os trajetos.

Analisando as implicações logísticas necessárias para garantir a efetiva disponibilização do óleo diesel nos postos integrantes da rede da Petrobras (a maioria dos postos estava comercializando o B2), optou-se pela ampliação da capacidade de armazenamento de combustível nos próprios veículos, por meio da instalação de um tanque adicional de 310 litros, visto na Figura 37, o qual foi inspecionado e certificado.

Figura 37: Tanque suplementar de 310 litros.



Esta alteração elevou a autonomia de cada veículo para 3.700 km sem a necessidade de reabastecimento, permitindo melhor controle da qualidade dos combustíveis utilizados.

5.4.1.2. Desempenho em Frota

O consumo de combustível, durante os testes de campo com as caminhonetes Ford, apresentou ligeiras variações, possivelmente decorrentes das diferentes habilidades e características de cada motorista. A posição do veículo no comboio apresentou-se como a principal característica a interferir no consumo de combustível. O veículo líder, que viajava sempre na frente do comboio, apresentou um consumo médio acumulado, aproximadamente 6,7% menor do que a média do consumo acumulado dos demais veículos.

A média do consumo para os veículos que usaram óleo diesel, B5 de soja e B5 de mamona foi 12,2, 11,9 e 11,7 km/l, respectivamente (Figura 38 e Tabela 8). As diferenças de consumo observadas não foram estatisticamente significativas.

Figura 38: Consumo médio de combustível por veículo

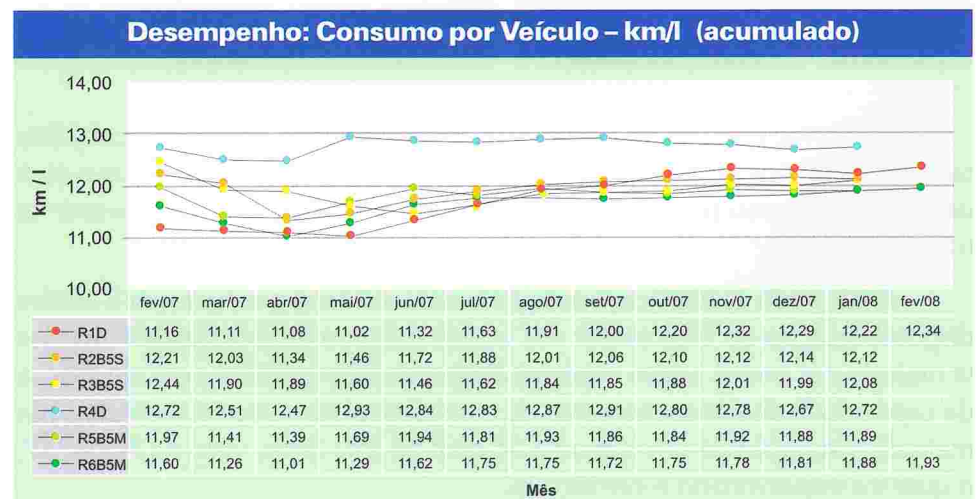


Tabela 8: Comparativo do consumo médio de combustível

combustível	veículo	média km/l	difer. %
B5 SOJA	R2B5S	11,93	0,4
	R3B5S	11,88	
	R2B5S x R3B5S	11,91	
B5 MAMONA	R5B5M	11,79	1,4
	R6B5M	11,63	
	R1D X R4D	11,71	
DIESEL	R1D	12,23	4,1
	R4D	12,75	
	R1D X R4D	12,49	
DIESEL	R1D	12,23	2,7
B5 SOJA	R2B5S X R3B5S	11,91	
DIESEL	R1D	12,23	4,3
B5 MAMONA	R5B5M X R6B5M	11,71	
B5 SOJA	R2B5S X R3B5S	11,91	1,6
B5 MAMONA	R5B5M X R6B5M	11,71	

Desconsiderando-se o veículo líder do comboio-teste, ocorreu uma tendência de maior consumo de combustível dos veículos que usaram B5; porém, estes valores encontram-se dentro dos limites de especificação do fabricante.

A frota acumulou 604.652 km em um ano, sendo que cada veículo percorreu pelo menos 100.000 km, com dispersão máxima de apenas 0,8% entre os mesmos.

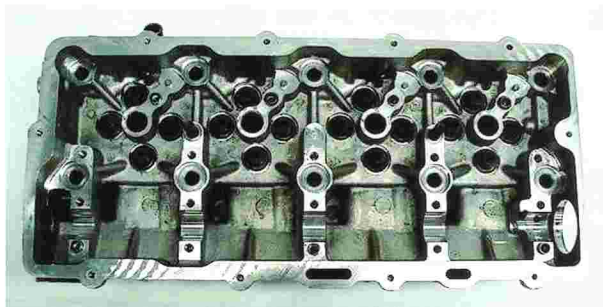
De acordo com os depoimentos dos motoristas, todos os seis veículos apresentaram desempenho equivalente e satisfatório, não sendo percebida qualquer diferença devido ao tipo de combustível utilizado.

5.4.1.3. Avaliação do Motor

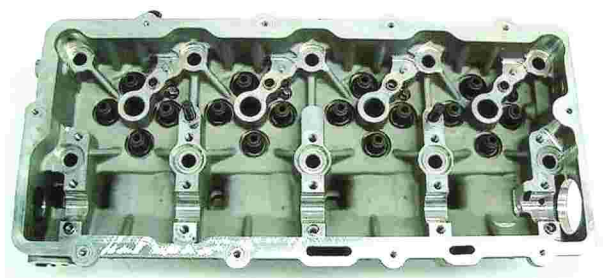
A avaliação do motor teve como objetivo a análise das peças que foram submetidas ao uso com a mistura B5, após término do período de teste de campo, em que resultados representativos dos motores MWM Ford foram separados por sistemas do motor e seus conjuntos de componentes.

Os cabeçotes (Figura 39) apresentaram aspecto normal para a quilometragem do teste.

Figura 39: Cabeçotes do motor MWM/Ford



Óleo Diesel



B5 Soja



B5 Mamona



Os blocos de cilindros analisados apresentaram características que condizem com o período de trabalho do motor.

O desgaste verificado condiz com a especificação para a quilometragem acumulada; porém, os cilindros dos motores (Figura 40) que rodaram com biodiesel B5 de soja e de mamona, apresentaram desgaste ligeiramente maior do que os cilindros que rodaram nos motores com óleo diesel.

Figura 40: Cilindros do motor



Óleo Diesel

B5 Soja



B5 Mamona

Os eixos de comando (Figura 41) apresentaram desgaste normal para o período de teste ao qual foram submetidos.

Figura 41: Eixos de comando do motor



Óleo Diesel



B5 Soja



B5 Mamona

Os eixos virabrequim (Figura 42), assim como os demais componentes, não apresentaram qualquer anormalidade.

Figura 42: Virabrequim do motor



Nas bombas de óleo (Figura 43), diante da análise efetuada, não se observou nenhum indício de desgaste que afetasse o seu funcionamento e desempenho.

Figura 43: Bomba de óleo de combustível



As válvulas (Figura 44) mantiveram-se em condições normais para a quilometragem submetida.

Figura 44: Válvulas do motor



Os pistões (Figura 45) encontravam-se em boas condições após o teste, sem indícios de desprendimento de material. O desgaste constatado estava dentro do especificado para a quilometragem acumulada e não havia marcas nas canaletas de travamento dos anéis. Os pistões, que rodaram nos motores com biodiesel B5 de soja e de mamona, apresentaram níveis de carbono semelhantes aos pistões que rodaram nos motores com óleo diesel.

Figura 45: Pistões do motor MWM/Ford



Óleo Diesel



B5 Soja

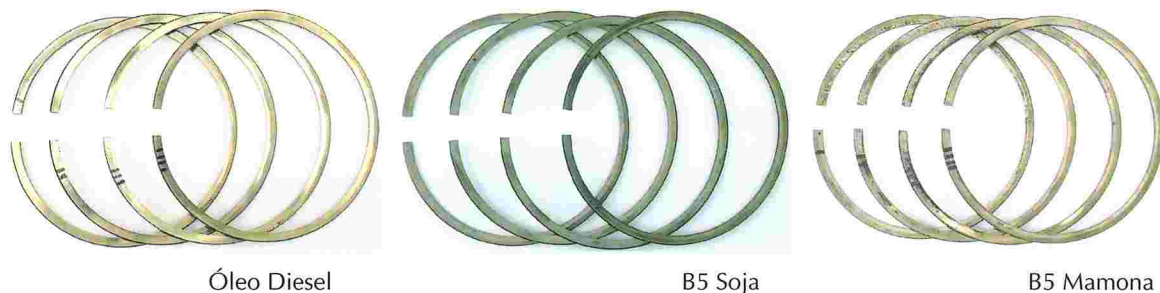


B5 Mamona

Em geral, os anéis dos pistões (Figura 46) mostraram boas condições, apresentando desgaste dentro da especificação para a quilometragem acumulada; porém, os anéis que rodaram nos motores com biodiesel B5 de soja

e de mamona, apresentaram desgaste um pouco maior do que os anéis que rodaram nos motores com óleo diesel.

Figura 46: Anéis do motor MWM/Ford



Os tubos pescadores de óleo (Figura 47) não apresentaram borras na tela de filtragem.

Figura 47: Tubo pescador de óleo combustível



Os componentes obtiveram desempenho funcional satisfatório, não sendo observados desvios dimensionais, desgastes excessivos, trincas, vazamentos, ou mesmo quaisquer falhas que pudessem comprometer o funcionamento dos motores avaliados, visto que os desgastes apresentados condizem com a quilometragem de análise dos mesmos.

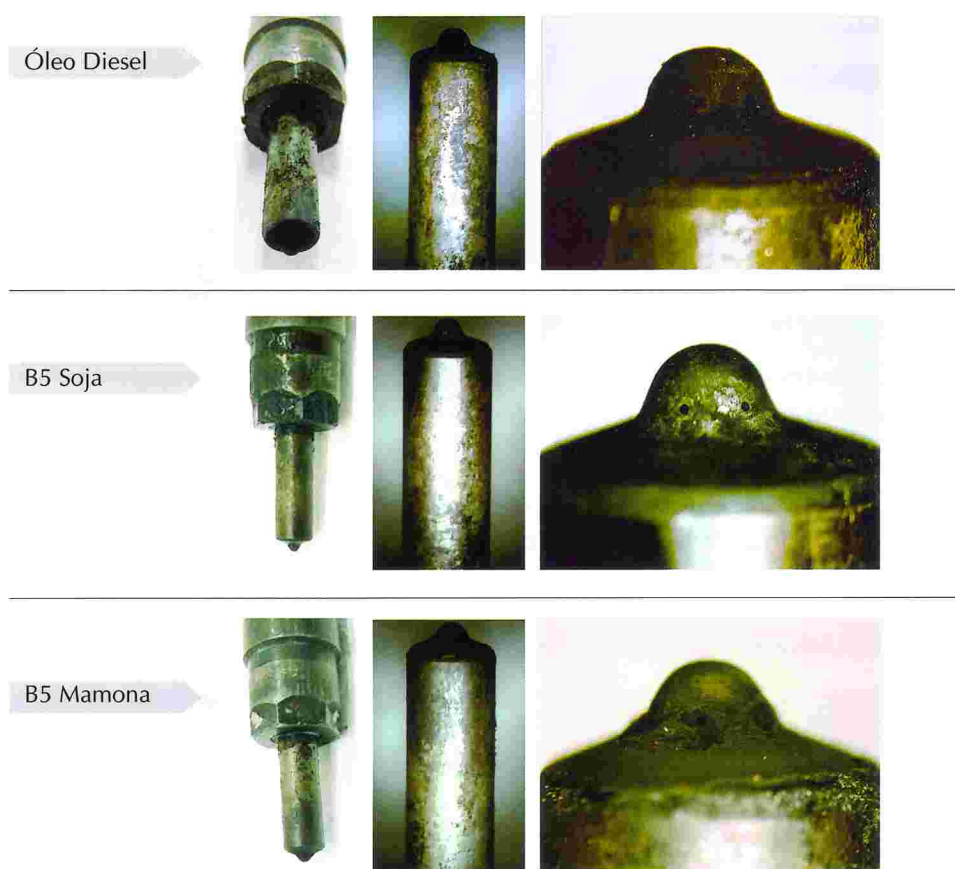
5.4.1.4. Sistema de Injeção de Combustível

Os componentes dos sistemas de injeção de combustível foram submetidos às seguintes inspeções:

Bicos injetores (Figura 48):

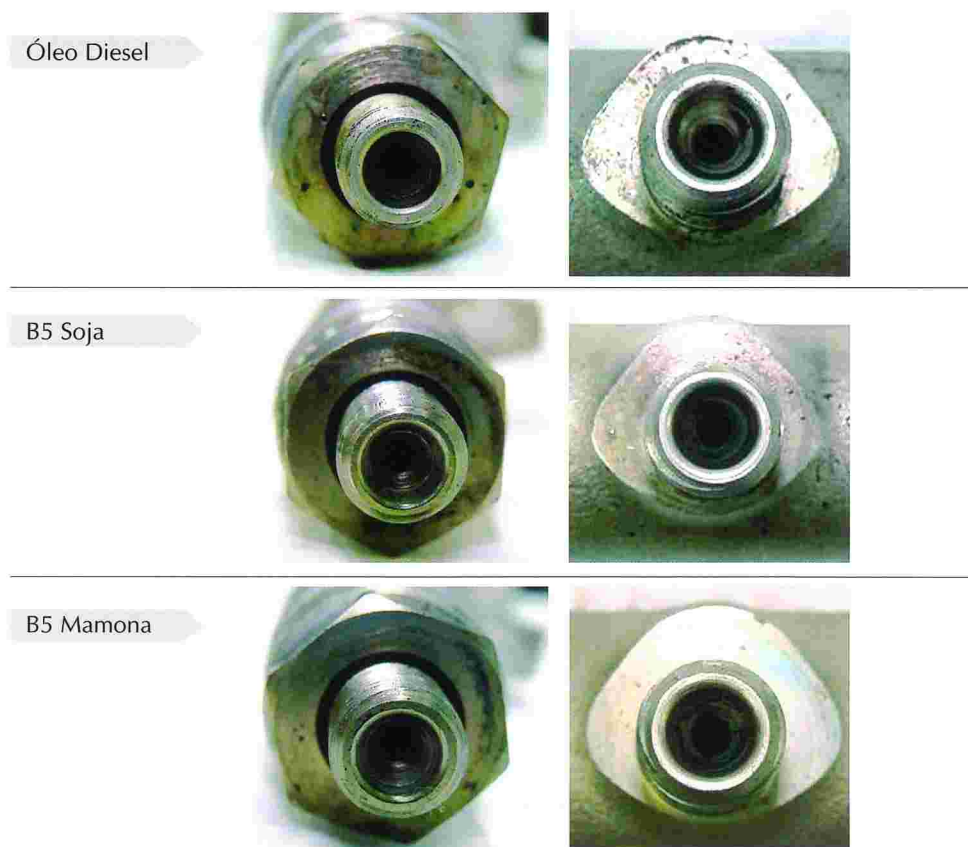
Inspeção visual, verificação da polarização do atuador, levantamento da agulha, pressão mínima de operação, estanqueidade, suspeita de coqueificação, medida do fluxo de retorno e medida da quantidade de injeção.

Figura 48: Bico injetor de combustível do motor MWM/Ford



Para o "Rail" (Figura 49), foi medida a estanqueidade e testado o desempenho do sensor.

Figura 49: Conexões do Rail do motor MWM/Ford



Os testes de bancada e as inspeções realizadas nos componentes do sistema de injeção de combustível constataram o funcionamento satisfatório dos mesmos e a ausência de danos.

Foram realizadas inspeções visuais nas linhas de combustível (Figura 50), não se constatando indícios de ataque químico nos componentes do sistema de combustível.

Figura 50: Linhas de combustível do motor MWM/Ford



Como ilustrado na Figura 51, antes da análise das bombas, foi também observada grande quantidade de contaminantes nos respectivos filtros, levando à diminuição da vazão de combustível. Este fato ocorreu em todas as bombas durante o teste de campo, chegando a interromper o fornecimento de combustível para o motor. Porém, após a substituição do filtro bloqueado, a bomba retomou sua condição normal de funcionamento.

Figura 51: Resíduos nos filtros da bomba de combustível



Não há indícios que acusem que a origem dos contaminantes tenha sido do biodiesel utilizado, mesmo porque também foi encontrada grande quantidade de contaminação nos veículos abastecidos com óleo diesel.

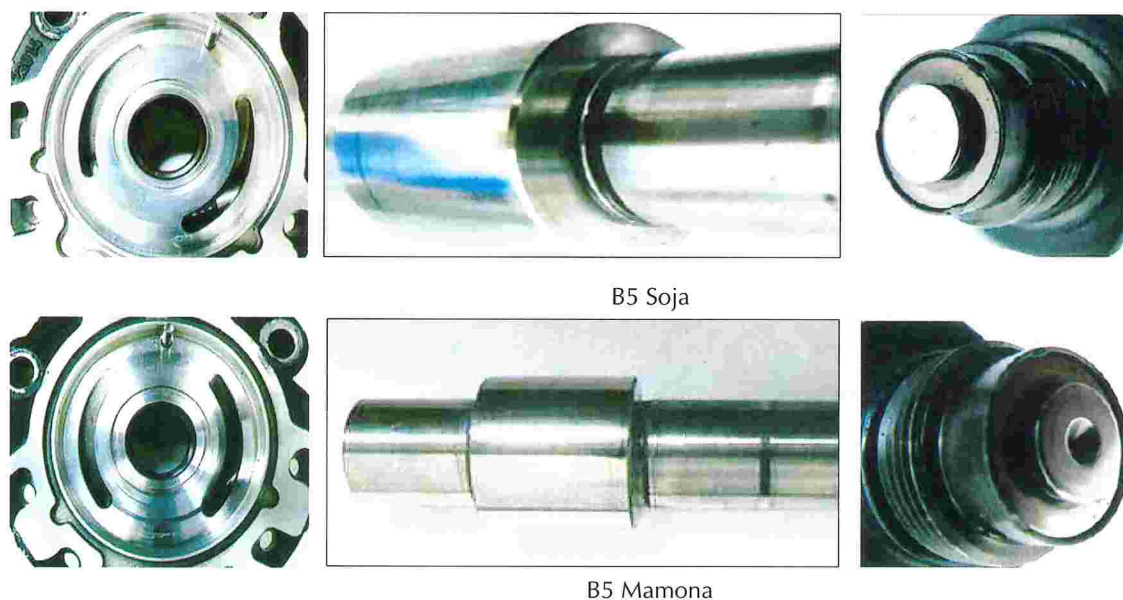
Foi detectada oxidação (Figura 52) na casca externa de todas as bombas. Este efeito, não muito frequente, pode ter sido consequência das condições de ensaio ou possíveis acúmulos de água no interior dos tanques dos veículos.

Figura 52: Oxidação na casca externa da bomba de combustível



Todas as bombas mantiveram satisfatórias as suas características funcionais e de durabilidade, não sendo evidenciadas diferenças significativas entre as bombas que funcionaram com óleo diesel ou com biodiesel B5. A Figura 53 evidencia o bom estado dos componentes das bombas.

Figura 53: Elementos da bomba de combustível do motor MWM/Ford



Para avaliação dos filtros de combustível, foram adotados os critérios: (i) medição da pressão diferencial em bancada de teste – Ref. ISO 4020; (ii) medição da eficiência de separação de água em bancada de teste – Ref. ISO 4020; (iii) inspeção visual.

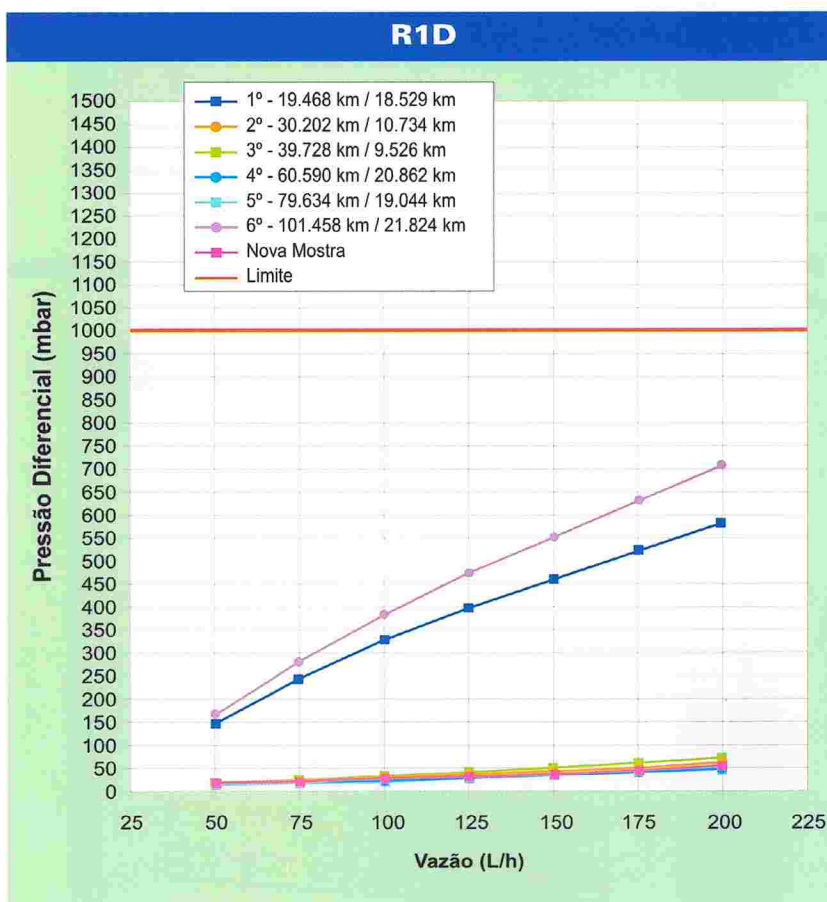
Os filtros analisados apresentaram valores de pressão diferencial aceitáveis para o intervalo de troca conforme manual do veículo (20.000km), como demonstrado pelas Figuras 54, 55, 56, 57, 58 e 59, sem evidência de colapso do elemento filtrante ou obstrução da passagem de combustível.

No entanto, os filtros que foram utilizados com biodiesel B5 de mamona apresentaram valores maiores de pressão diferencial em relação aos filtros utilizados com óleo diesel e biodiesel B5 de soja; a utilização desse combustível causou bloqueio parcial dos filtros de combustível, sendo que em dois casos o limite máximo de pressão diferencial especificado foi atingido antes da troca do filtro, que deve ocorrer aos 20.000km de uso.

Da análise desta ocorrência, conclui-se que a característica “Contaminação Total” é particularmente importante para o controle do potencial de obstrução dos filtros de combustível e, em especial, para o biodiesel de mamona.

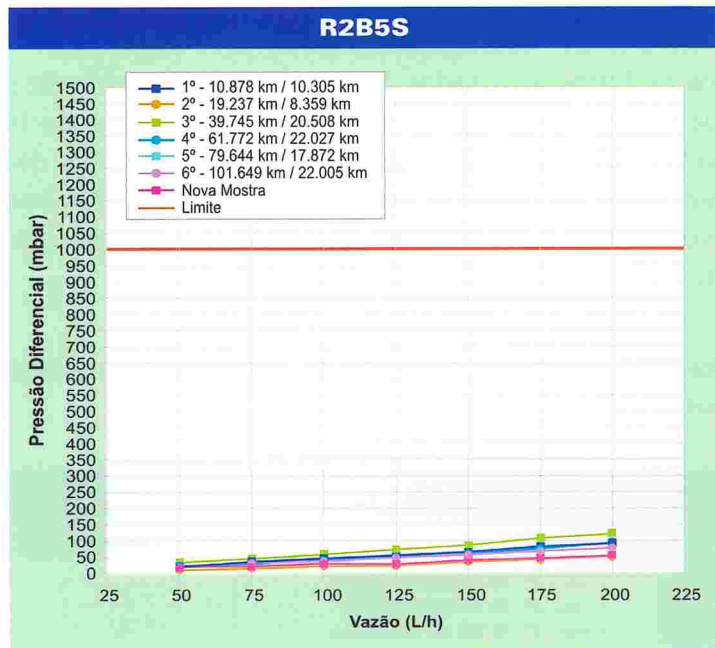
Todos os filtros analisados apresentaram eficiência de separação de água acima do exigido pelo fabricante do sistema de injeção de combustível ($\geq 93\%$). As diferentes pressões diferenciais dos filtros e os diferentes tipos de misturas de combustível utilizados nos veículos não comprometeram a propriedade de separação de água das amostras analisadas.

Figura 54: Resultados dos testes de pressão diferencial do filtro de combustível, veículo diesel



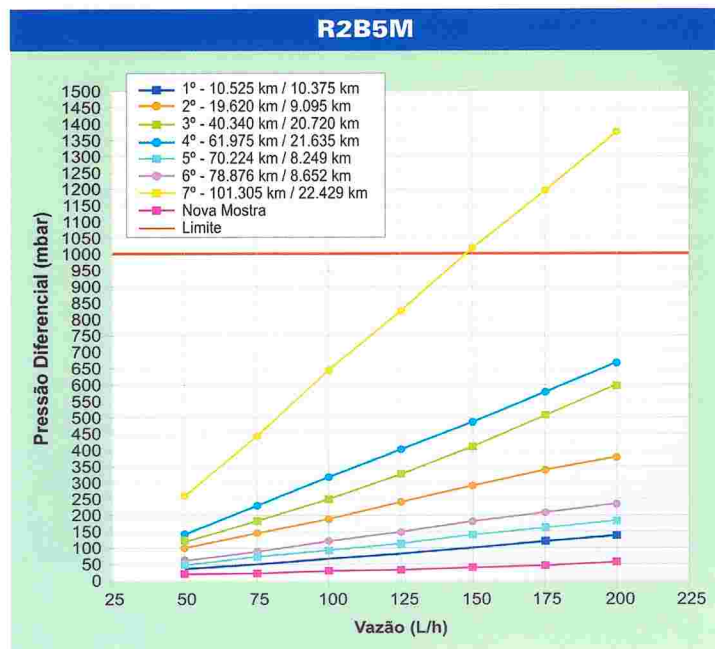
Fonte: MAHLE (A)

Figura 55: Resultados dos testes de pressão diferencial do filtro de combustível, veículo B5 soja



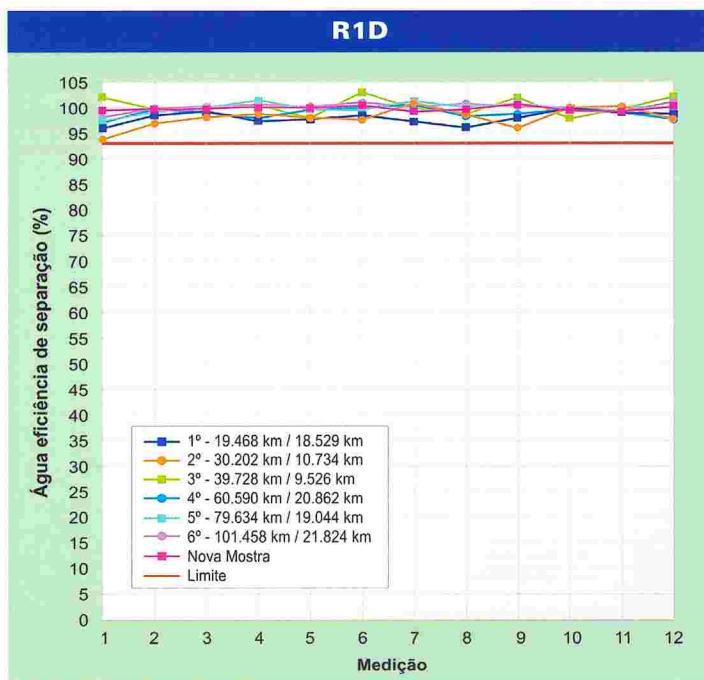
Fonte: MAHLE (A)

Figura 56: Resultados dos testes de pressão diferencial do filtro de combustível, veículo B5 mamona



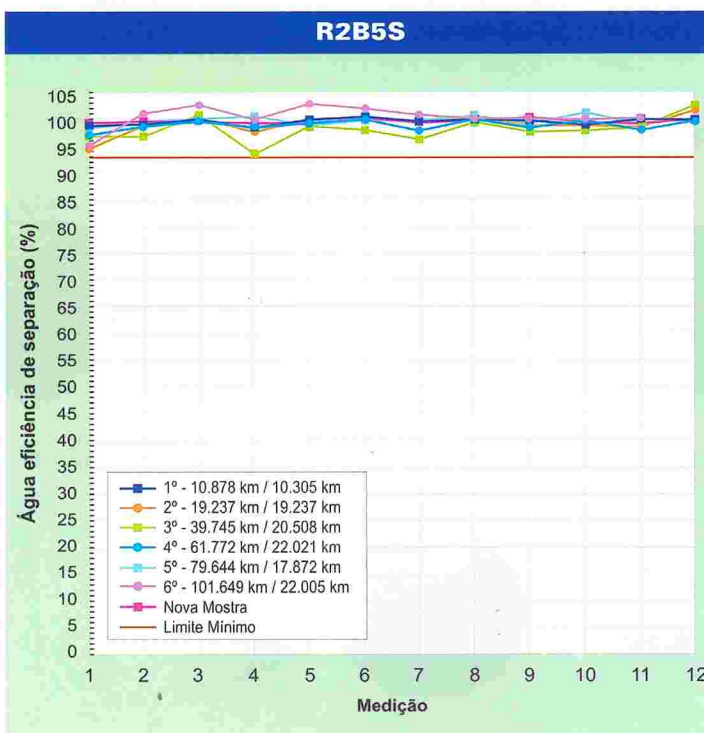
Fonte: MAHLE (A)

Figura 57: Eficiência de separação de água, veículo diesel



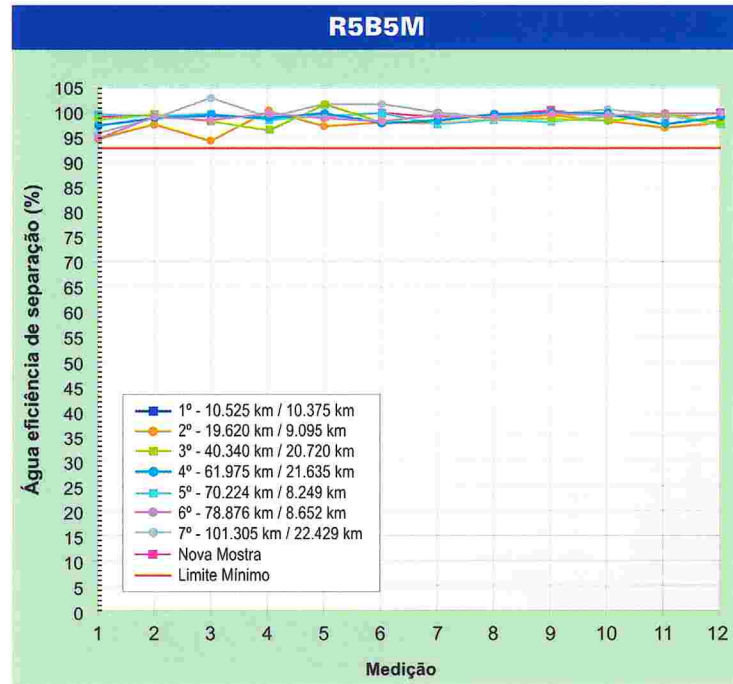
Fonte: MAHLE (A)

Figura 58: Eficiência de separação de água, veículo B5 soja



Fonte: MAHLE (A)

Figura 59: Eficiência de separação de água, veículo B5 mamona



Fonte: MAHLE (A)

Na inspeção visual não foram evidenciados qualquer tipo de ataque ou depósitos nos componentes dos filtros de combustível, como ilustrado na Figura 60.

Figura 60: Filtros de combustível do motor MWM/For

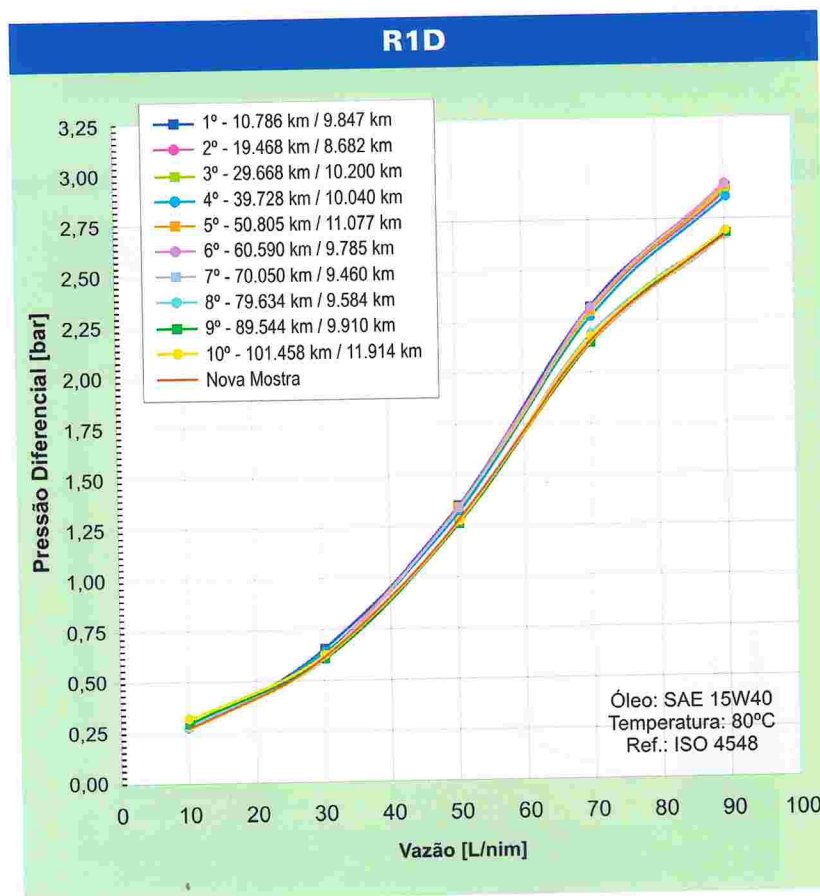


Os resultados obtidos a partir dos testes caracterizaram como satisfatório o desempenho dos sistemas de injeção de combustível, estando aprovado para utilização de biodiesel B5 de soja e de mamona.

Para avaliação dos filtros de óleo lubrificante, foram adotados os critérios de inspeção visual dos elementos filtrantes de óleo lubrificante e medição de pressão diferencial em bancada de teste – Ref. ISO 4548.

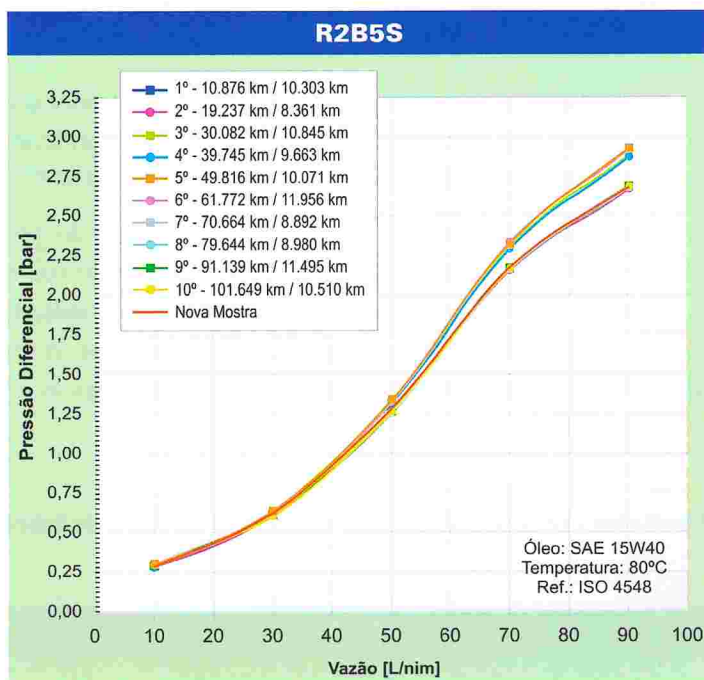
Todas as amostras analisadas apresentaram valores de pressão diferencial aceitáveis para o período de troca conforme o manual do veículo (10.000km), uma vez que todas as amostras apresentaram resultados de pressão diferencial similares para todos os combustíveis testados, o que caracteriza os resultados como satisfatórios. Os elementos das Figuras 61, 62 e 63 denotam essa observação.

Figura 61: Resultados dos testes de pressão diferencial do filtro de lubrificante diesel



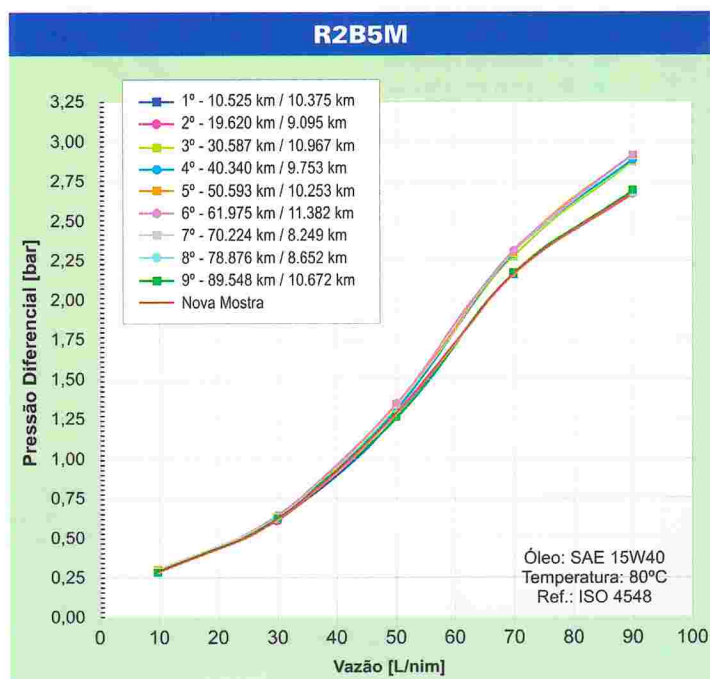
Fonte: MAHLE (A)

Figura 62: Resultados dos testes de pressão diferencial em filtro de lubrificante B5 soja



Fonte: MAHLE (A)

Figura 63: Resultados dos testes de pressão diferencial em filtro de lubrificante mamona



Fonte: MAHLE (A)

Todos os elementos filtrantes dos filtros de óleo lubrificante analisados (Figura 64, 65 e 66) apresentaram o mesmo aspecto visual, não sendo constatadas características de ataque nos discos, no papel filtrante, na gravação ou na colagem/soldagem do papel filtrante.

Figura 64: Filtro de óleo lubrificante diesel motor MWM/Ford



Veículo Diesel – Troca com 101.458 km/11.914 km

Figura 65: Filtro de óleo lubrificante B5 – Soja, motor MWM/Ford



Veículo B5 Soja – Troca com 101.649 km/10.510 km
Módulo do filtro de óleo – 101.649 km

Figura 66: Filtro de óleo lubrificante B5 – mamona, motor MWM/Ford



Veículos B5 Mamona – Troca com 101.305 km/11.757 km
Módulo filtro de óleo – 101.305 km

5.4.1.5. Parecer

As avaliações (inspeções, análises, testes específicos e medições), realizadas nos equipamentos, sistemas e componentes que estiveram em contato com os combustíveis, indicam que as misturas B5 de mamona e soja apresentaram desempenho satisfatório e equivalente ao óleo diesel.

Considera-se, portanto, aprovada a utilização dos combustíveis testados (B5 de mamona e B5 de soja) nos veículos Ford Ranger.

5.4.2. Volkswagen – Real Auto-Ônibus – Rio de Janeiro

5.4.2.1. Apresentação

Para a realização deste teste, foi firmado um acordo específico de cooperação técnica que visou a pesquisa e a validação do uso do biodiesel em misturas B5, com as seguintes empresas/instituições parceiras:

1. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado do Rio de Janeiro (Secti-RJ);
2. Real Auto-Ônibus Ltda.;
3. Volkswagen Caminhões e Ônibus;
4. Instituto Nacional de Tecnologia (INT);
5. Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro;
6. Shell Brasil Ltda.;
7. MWM-International Indústria de Motores da América do Sul Ltda.;
8. Robert Bosch Ltda.; e
9. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj).

As características da frota teste estão descritas na Tabela 9.

Tabela 9: Características da frota teste da Real Auto-ônibus

Frota-teste	Real Auto-ônibus
Veículos-teste	Ônibus Volkswagen modelo VW 17.210E-OD equipado com motor MWM-International Acteon 6.12 TCAE de 210 cv e sistema de injeção "Common Rail"
Objetivos do teste	Avaliar a influência do biodiesel B5 de soja e mamona na funcionalidade e integridade de motor, sistemas e componentes
Tipo de operação	Transporte coletivo
Tipo de carga	Pessoas
Tipo da composição	Ônibus rodoviário
Fornecedora do B5	Shell
Fornecedora do B100	Ladatel/UFRJ-Coppe

Na cidade do Rio de Janeiro, foram testados dois ônibus Volkswagen modelo VW 17.210E-OD (Figura 67), pertencentes à Real Auto-Ônibus, os

quais percorrem a linha 121 (Central-Copacabana), sendo equipados com o motor MWM-International Acteon 6.12 TCAE, com 210 cv de potência. Trata-se de um motor eletrônico, com sistema de injeção “Common Rail” – Proconve P5 (Euro 3).

O objetivo foi o de avaliar a influência do combustível biodiesel B5 na funcionalidade e integridade de sistemas e componentes do motor.

Figura 67: Ônibus da Real Auto-ônibus com B5 no Rio de Janeiro



O biodiesel B100, base metélica de soja, foi fabricado pelo Laboratório de Tecnologias Limpas (Ladétel) da Universidade de São Paulo (USP) e pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)/Coppe e caracterizado pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT), segundo a especificação da Resolução ANP nº 42/04, e foi estocado em tambores de aço inoxidável.

Na Real Auto-Ônibus, a mistura B5 foi produzida e estocada no tanque de armazenagem da garagem (Figura 68).

Figura 68: Tanque de armazenagem e sistema de abastecimento da Real Auto-Ônibus



5.4.2.2. Desempenho em Frota

Os motores dos veículos teste foram padronizados e avaliados pela MWM (Figura 69), onde seus sistemas de injeção de combustível originais foram substituídos por novos e protocolados³ pela Bosch.

Figura 69: Reinstalação do motor MWM 6.12 TCAE no ônibus da Real Auto-Ônibus



As informações sobre a operação dos ônibus em teste foram disponibilizadas pela Real Auto-Ônibus, em um sistema informatizado de gestão de frota no qual são registrados dados sobre o desempenho, consumo de combustível, manutenção, tanto preventiva quanto corretiva, além das informações relevantes do diário de bordo.

A substituição do motor do veículo 41.262 aconteceu durante os dias 12/11/05 e 13/11/05, no concessionário Transrio, sob acompanhamento da Volkswagen e MWM International, de modo a garantir a integridade da montagem conforme necessidade do projeto. O ônibus 41.262 passou a operar consumindo mistura de biodiesel B5 a partir de 14/11/2005 e iniciou-se a realização do acompanhamento de seu consumo.

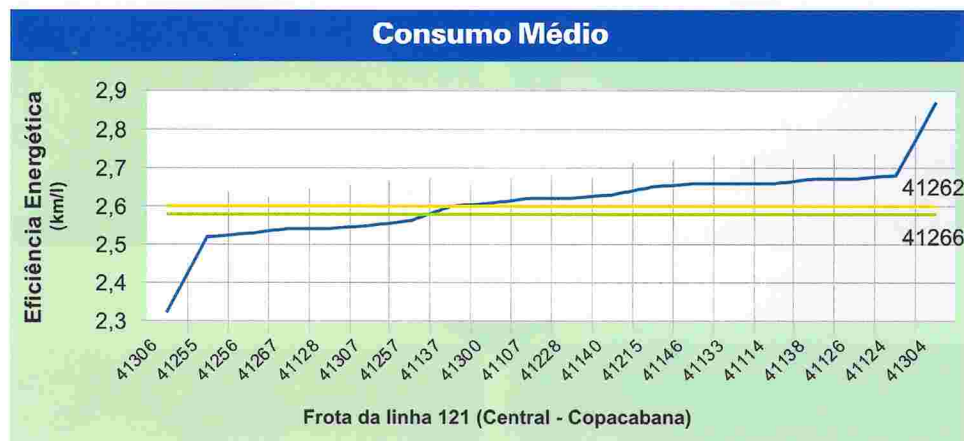
O ônibus 41.266, com as mesmas características do ônibus 41.262, foi escolhido para operar com óleo diesel (S500) e serviu de referência para os resultados dos testes, sendo denominado de "sombra". Operou na mesma linha, sendo submetido às mesmas condições de operação dos outros veículos da frota, possibilitando, assim, uma análise comparativa direta dos resultados

³ Protocolamento refere-se ao procedimento de dimensionamento registrado de peças e componentes internos do equipamento e o registro de sua calibração com a finalidade de análise comparativa posterior ao teste.

obtidos. Este veículo entrou em operação doze dias após o início dos testes com o ônibus 41.262.

Na Figura 64 são apresentadas as médias de consumo dos ônibus 41.262 e 41.266 em relação aos demais veículos da frota (Figura 69).

Figura 69: Comparativo dos consumos dos veículos-teste com outros da mesma linha



Verifica-se que os ônibus que operam na linha 121 possuem uma variação de consumo semelhante, apresentando desvio padrão de 0,1 km/l. Provavelmente, estas oscilações podem ser explicadas pela troca constante de motoristas ou pelo fato de existirem eventuais variações na linha percorrida pela frota em análise.

Em função do ônibus 41.262 apresentar consumo de combustível dentro da média observada pelos demais veículos desta mesma linha, pode-se considerar que a utilização da mistura de biodiesel B5 não se apresenta como um fator determinante na alteração do consumo de combustível deste veículo.

5.4.2.3. Avaliação do Motor

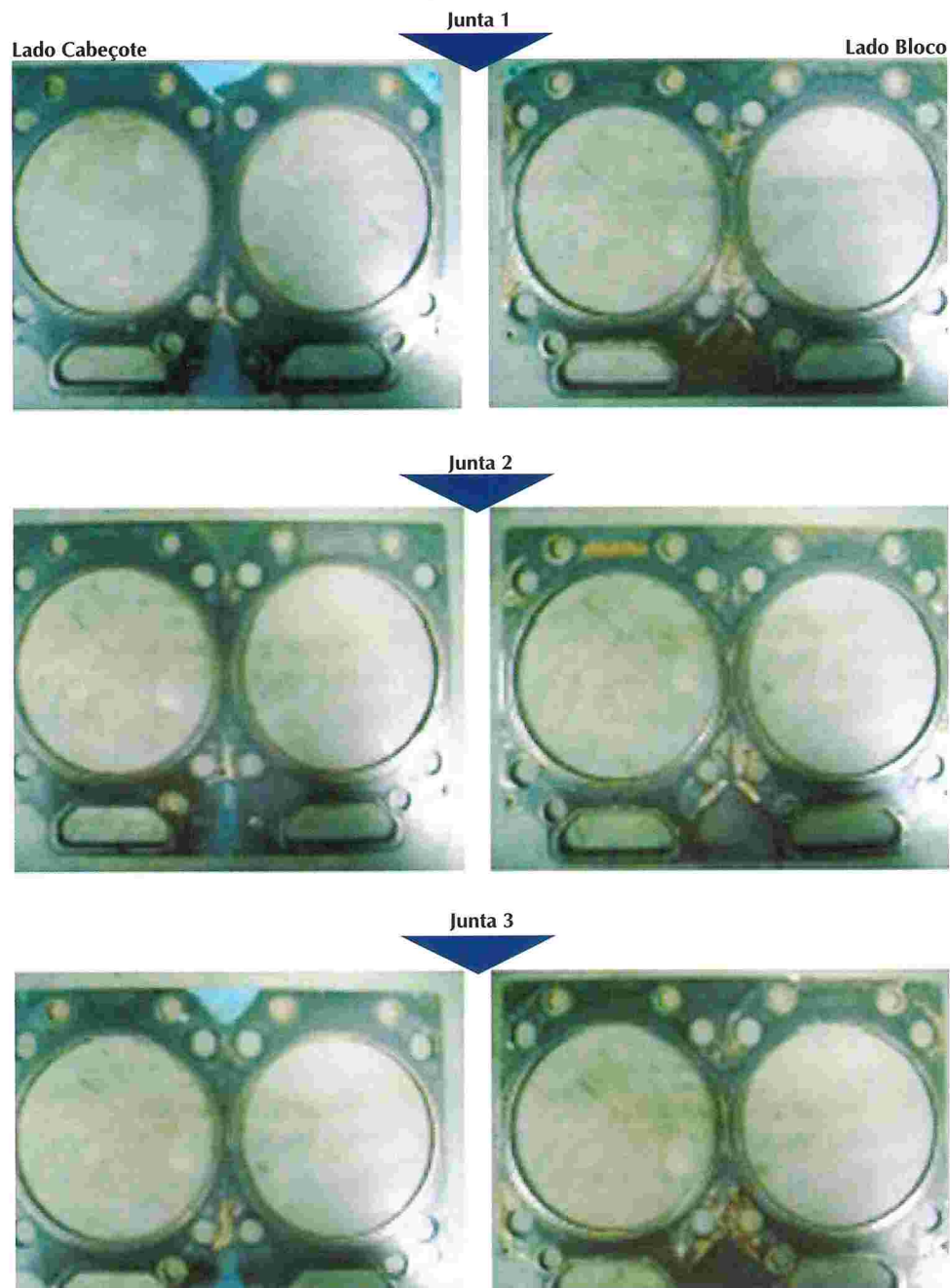
O motor MWM/Volkswagen da Real Auto-Ônibus, que operou por 91.114 km de testes apenas com a mistura B5 de soja, foi inspecionado por videoscopia de alta resolução, para analisar a parte interna, ou seja, todas as partes que envolvem a área de trabalho do pistão.

Da análise dos vários componentes do motor, tem-se que:

As juntas do motor (Figura 70) apresentaram desempenho funcional satisfatório, não tendo sido detectados sinais de vazamento ou qualquer outra anomalia.

Figura 70: Juntas de cabeçote do motor MWM/Volkswagen

Junta do Cabeçote (9.612.0.854.003.4)



Após análise de todos os cabeçotes (Figura 71) nada de anormal foi encontrado, o desempenho foi satisfatório, sem a detecção de trincas na região localizada entre as sedes de válvulas.

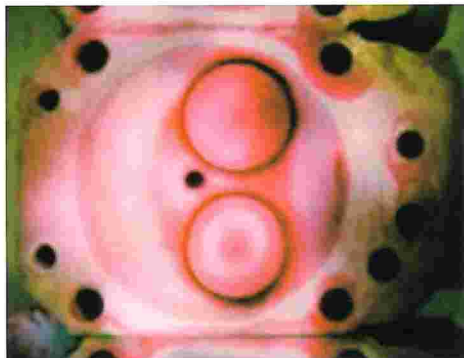
Figura 71: Cabeçotes do motor MWM/Volkswagen

Cabeçote do Motor (9.612.0.180.002.2)

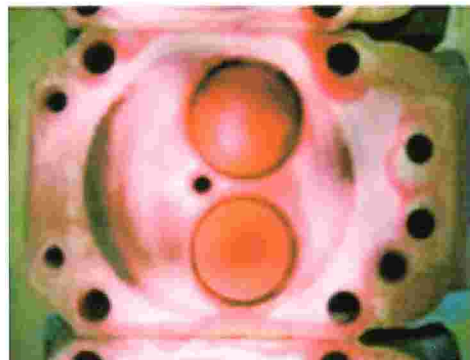
1º Cilindro



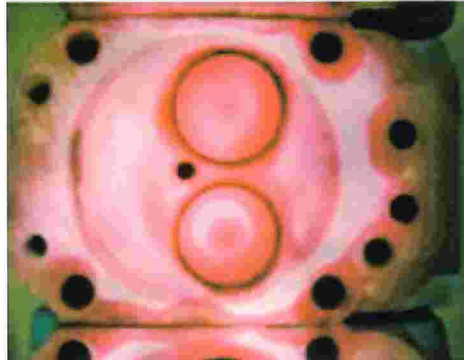
2º Cilindro



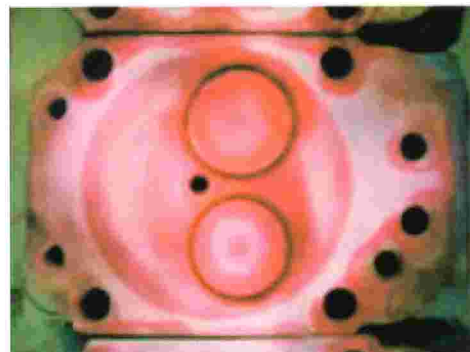
3º Cilindro



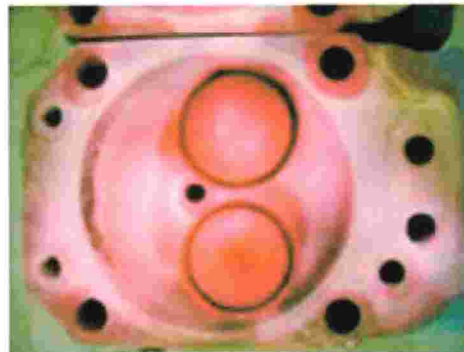
4º Cilindro



5º Cilindro



6º Cilindro



Para as camisas do bloco do motor analisadas, não foi encontrado dano ou desgaste causado pelos anéis do pistão.

Como pode ser observado na Figura 72, tanto as bielas como as bronzinas tiveram desempenho funcional satisfatório, não apresentando desgaste excessivo nas buchas.

Figura 73: Biela e bronzinas do motor MWM/Volkswagen

Biela do 1º Cilindro (9.612.0.150.004.6)



Bronzina de Biela Superior
(9.612.0.430.012.4)

Bronzina de Biela
(9.612.0.430.002.4 / 9.610.0.430.022.4)



5.4.2.4. Sistema de Injeção de Combustível

O sistema de injeção e componentes, como tubo de distribuição, bico injetor e bomba de alimentação, apresentou desempenho funcional satisfatório; não foram encontradas anomalias, ou seja, nenhum sinal de vazamento ou problema de desempenho (Figuras 74 e 75).

Figura 74: Rail e bicos injetores motor MWM/Volkswagen

Tubo de Distribuição – Rail
(9.412.0.907.001.4)



Blocos Injetores
(9.612.0.464.003.7)



Bico Injetor do 1º Cilindro



Bico Injetor do 2º Cilindro



Bico Injetor do 3º Cilindro



Bico Injetor do 4º Cilindro



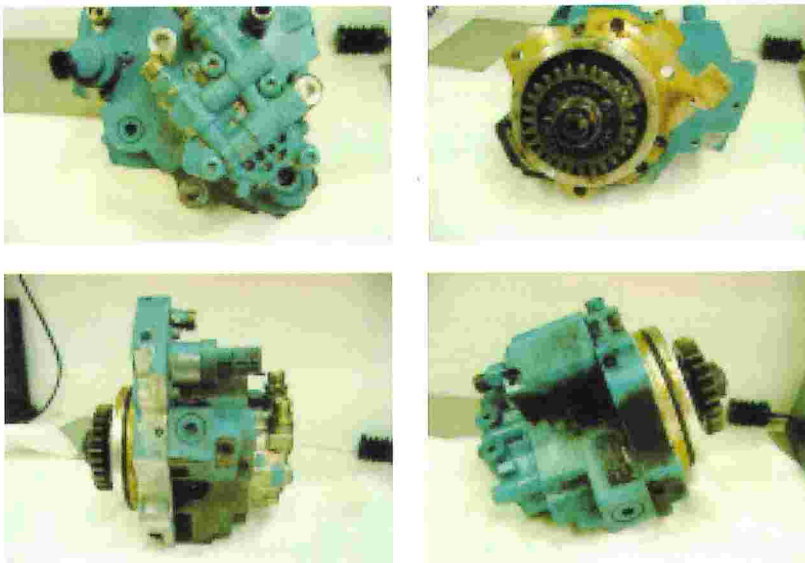
Bico Injetor do 5º Cilindro



Bico Injetor do 6º Cilindro

Figura 75: Bomba de alta pressão do motor MWM/Volkswagen

Bomba de Alta de Pressão (9.612.0.727.001.4)



5.4.2.5. Parecer

Conforme resultados obtidos com motores eletrônicos MWM International série Acteon, seis cilindros, aplicação ônibus urbano VW 17.210 e sistema de injeção Common Rail (Bosch), o uso de biodiesel (éster metílico de óleo de soja), na proporção de mistura de 5% (denominado B5), mostra que não existe qualquer limitação técnica ao uso desta mistura, desde que sejam atendidos os parâmetros de qualidade da Resolução ANP 07/2008 para o B100.

5.4.3. Coppe/UFRJ – Volkswagen – Engemix – Rio de Janeiro

5.4.3.1. Apresentação

Para a realização deste teste foi firmado um acordo de cooperação que visou a pesquisa técnica e a validação do uso do biodiesel em mistura B5, com as seguintes empresas/instituições parceiras:

1. Volkswagen Caminhões e Ônibus;
2. Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ);
3. Engemix S.A.;
4. MWM-International Indústria de Motores da América do Sul Ltda.;
5. Robert Bosch Ltda.; e
6. Petróleo Ipiranga S.A.

As características da frota-teste estão descritas na Tabela 10.

Tabela 10: Características da frota-teste da Engemix

Frota-teste	Engemix
Veículos-teste	Caminhão Volkswagen modelo VW 26.260 E Worker equipado com motor MWM e sistema de injeção de combustível "Common Rail"
Objetivos do teste	Avaliar a influência do biodiesel B5 de mamona na funcionalidade e integridade de motor, sistemas e componentes
Tipo de operação	Transporte de concreto
Tipo de carga	Concreto
Tipo da composição	Betoneira
Fornecedora do B5	Ipiranga
Fornecedora do B100	UFRJ-Coppe

Este projeto contou com a participação da UFRJ/Coppe na coordenação dos trabalhos e na produção do biodiesel metílico de mamona; Volkswagen Caminhões e Ônibus, fabricante dos veículos; Engemix, frotista proprietária dos veículos VW; Ipiranga, fornecedor de óleo diesel; além da parceria com MWM International, fabricante dos motores.

Foram empregados quatro veículos VW 26.260E Worker (Figura 76) com motor MWM International – Acteon 6.12, com sistema de injeção eletrônico de combustível do tipo Common Rail – Euro 3, para aplicação em betoneira, operando com a mistura B5 em três desses veículos, e óleo diesel em um veículo, chamado de "sombra", para comparativo pelo período de um ano (Tabela 11).

Tabela 11: Dados dos veículos teste da Engemix

Testes com Biodiesel B5 – Engemix				
Modelo VW 26-260E Worker				
Dados dos Veículos	1 Veículo	2 Veículo	3 Veículo	4 Veículo (sombra)
Combustível	Diesel B5 (Biodiesel de Mamona)			Diesel B2
Número do Chassi	6R619010	6R618900	7R719908	6R617968
Tração	6x4			
Entre Eixo (mm)	4800			
Número da Frota	2367	2365	2481	2407
Placa	ANV 2992	ANV 2993	AOY 1754	ANU 7989
Data de Fabricação	04/2006	04/2006	04/2007	03/2006
Num. Série do Motor	F1A006416	F1A006414	F1A12731	F1A005736
Quilometragem (Km)	28627	21422	13039	18086
Horímetro (h)	1868	1934	1245	1516
Data da Atualização	13/12/2007	14/12/2007	20/12/2007	28/12/2007

Figura 76: Caminhão VW com sistema Common Rail da Engemix



Como infraestrutura de abastecimento, foi disponibilizado pela Engemix um tanque aéreo com volume de 15 mil litros (Figura 77) e uma bomba de abastecimento com precisão em litros.

Figura 77: Tanque de combustível da Engemix



5.4.3.2. Desempenho em Frota

Os veículos destinados ao uso com a mistura B5 foram revisados na cidade de Resende-RJ pela concessionária VW CIAC Diesel e o veículo sombra pela própria Engemix.

As atividades de revisão dos veículos estão listadas abaixo e algumas imagens deste trabalho são ilustradas na Figura 78.

Figura 78: Preparação dos veículos



1. Troca do sistema de combustível do veículo (tanque, linhas de alimentação e retorno, pré-filtro);
2. Troca do sistema de combustível do motor (bomba de alta pressão, rail, tubulações de alta e baixa pressão, filtro de combustível e bicos injetores);
3. Troca do filtro de óleo e óleo lubrificante do motor; e
4. Inspeção visual através de videoscopia das câmaras de combustão e da parte superior dos pistões.

Mensalmente, foram enviadas planilhas de acompanhamento de consumo desses veículos para a equipe da Coppe/UFRJ encarregada de analisar os dados.

Os três veículos testados com mistura B5 foram identificados pelos números 2365, 2367 e 2481 e o veículo sombra foi identificado pelo número 2407.

As planilhas foram estruturadas por dia de operação, apresentando os seguintes dados:

- Data;
- Volume total de concreto transportado (m^3) no dia;
- Hora em que a betoneira foi ligada;
- Hora em que a betoneira foi desligada;
- Tempo que a betoneira permaneceu ligada (horas);
- Leitura do odômetro no início do dia de operação (km);
- Leitura do odômetro no fim do dia de operação (km);
- Quilometragem percorrida durante o dia de operação (km);
- Número de viagens realizadas durante o dia de operação; e

- Abastecimento de diesel no fim do dia de operação (litros).

A partir destes dados foram gerados os seguintes indicadores:

- Tempo de operação por consumo de combustível (h/l);
- Consumo de combustível por volume de concreto transportado (l/m³); e
- Quilometragem percorrida por consumo de combustível (km/l).

Os dados coletados dos quatro veículos foram analisados e a partir dos resultados foram calculados para cada veículo:

- A média do tempo de operação por consumo de combustível (h/l);
- O desvio padrão do tempo de operação por consumo de combustível (h/l);
- A média do consumo de combustível por volume de concreto transportado (l/m³);
- O desvio padrão do consumo de combustível por volume de concreto transportado (l/m³);
- A média da quilometragem percorrida por consumo de combustível (km/l); e
- O desvio padrão da quilometragem percorrida por consumo de combustível (km/l).

As Tabelas 12, 13, 14 e 15 apresentam a síntese das amostras mês a mês, bem como os resultados dos indicadores.

Tabela 12: Dados do veículo 2365

2365								
Período	h/l		l/m ³		km/l		Tamanho Amostra Considerada	Pontos Inconsistentes
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio		
Dez-jan 07	0,11	0,06	4,61	1,99	1,14	0,38	24	2
fev	0,11	0,07	5,78	3,81	1,23	0,74	27	2
mar	0,11	0,06	6,10	5,22	1,30	0,55	9	2
abr	0,12	0,08	5,40	2,58	0,93	0,47	21	1
mai	0,09	0,05	6,08	3,57	1,05	0,50	19	2
jun	0,10	0,09	5,84	4,01	1,22	0,64	15	0
jul	0,11	0,07	4,26	1,85	1,42	0,49	25	0
ago	0,13	0,06	3,90	1,94	1,43	0,41	26	0
set	0,09	0,05	6,09	2,54	1,02	0,19	24	0
out	0,20	0,09	2,00	0,53	1,56	0,19	9	0
nov	0,13	0,06	3,09	2,06	1,73	0,17	25	0
dez	0,18	0,09	3,36	1,26	1,79	0,10	15	0
Total	0,12	0,07	4,85	2,92	1,36	0,51	239	9
junho-dez	0,13	0,08	4,37	2,49	1,54	0,40	139	0
jul-dez	0,13	0,07	4,19	2,20	1,58	0,34	124	0
ago-dez	0,14	0,07	4,17	2,29	1,62	0,28	99	0

Tabela 13: Dados do veículo 2367

2367								
Período	h/l		l/m ³		km/l		Amostra Considerada	Pontos Inconsistentes
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio		
Dez-jan	0,13	0,07	4,47	3,06	1,50	0,68	20	1
fev	0,11	0,07	4,78	2,91	1,36	0,61	18	2
mar	0,12	0,07	5,39	5,28	1,56	0,82	9	1
abr	0,11	0,09	7,59	6,40	1,45	0,74	13	0
mai	0,08	0,04	8,06	6,24	1,59	0,64	18	1
jun	0,08	0,03	6,79	2,88	1,37	0,28	14	0
jul	0,10	0,05	5,40	3,04	1,59	0,41	23	0
ago	0,10	0,04	5,75	2,09	1,51	0,27	26	0
set	0,11	0,07	5,00	2,50	1,79	0,19	26	0
out	0,16	0,06	4,32	2,71	1,77	0,17	22	0
nov	0,20	0,11	3,79	2,02	1,63	0,18	20	0
dez	0,14	0,05	3,42	0,88	1,67	0,15	4	0
Total	0,12	0,07	5,40	3,67	1,58	0,47	213	5
junho-dez	0,13	0,07	5,06	2,62	1,63	0,29	135	0
jul-dez	0,13	0,08	4,86	2,53	1,66	0,28	121	0
ago-dez	0,14	0,08	4,74	2,39	1,68	0,24	98	0

Tabela 14: Dados do veículo 2481

2481								
Período	h/l		l/m ³		km/l		Amostra Considerada	Pontos Inconsistentes
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio		
dez-jan 07	0,12	0,08	5,04	4,47	1,50	0,86	20	0
fev	0,09	0,06	4,92	2,52	1,15	0,47	16	4
mar	0,09	0,08	6,13	5,73	1,67	1,17	11	1
abr	0,08	0,03	5,89	3,93	1,07	0,49	18	2
mai	0,09	0,06	8,12	7,33	2,02	1,15	18	0
jun	0,09	0,07	6,68	4,15	1,58	1,23	19	0
jul	0,09	0,05	6,18	4,09	1,59	0,27	28	0
ago	0,13	0,09	5,42	2,77	1,59	0,27	25	0
set	0,10	0,05	4,32	1,62	1,75	0,19	26	0
out	0,13	0,12	4,24	2,25	1,71	0,19	26	0
nov	0,14	0,04	3,47	1,23	1,77	0,09	14	0
Total	0,11	0,07	5,43	3,98	1,59	0,69	221	7
junho-dez	0,11	0,08	5,12	3,10	1,66	0,50	138	0
jul-dez	0,12	0,08	4,87	2,84	1,67	0,23	119	0
ago-dez	0,13	0,09	4,47	2,20	1,70	0,21	91	0

Tabela 15: Dados do veículo 2407

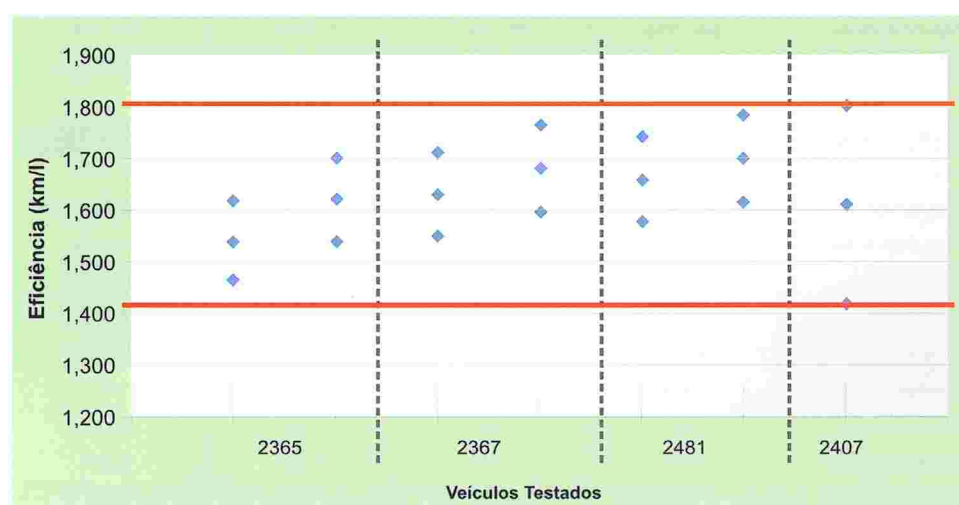
2407						
Período	l/m ³		km/l		Considerada	Erro
	Média	Desafio	Média	Desafio		
jan	5,78	2,55	1,10	0,41	19	
fev	5,27	2,53	1,87	0,19	10	
mar	6,03	3,86	1,28	0,43	11	
abr	7,21	2,42	1,94	0,36	3	
mai	4,37	2,41	1,84	0,55	9	
Total	5,57	2,83	1,61	0,43	52	12

Atendido o critério de um nível de significância de 95%, foi possível obter erros relativos menores que 5% para todos os valores de média da medida km/l obtidos para os períodos de jun-dez/nov, jul-dez/nov e ago-dez/nov para todos os veículos testados.

Foi possível obter erro relativo de 12% para os valores médios da medida km/l obtidos para o período cujos dados foram disponíveis.

A Figura 79 apresenta a comparação dos resultados obtidos para a medida km/l no teste dos três veículos que utilizaram mistura B5 em comparação com o veículo de referência.

Figura 79: Comparação de desempenho dos veículos testados.



Observa-se que, a partir dos resultados obtidos para a melhor e pior média da medida de eficiência (km/l) para cada veículo testado, não é possível rejeitar a hipótese de que a eficiência em km/l dos veículos testados com mistura B5

seja inferior a 1,417km/l, pior desempenho esperado para o veículo considerado como referência. Estes resultados foram obtidos a partir das amostras obtidas em campo, com 95% de confiabilidade e erro relativo máximo de 12%.

Em função da melhor qualidade da amostra das medidas de eficiência obtida para os veículos que utilizaram mistura B5 e da maior disponibilidade de elementos, é possível afirmar que a eficiência em km/l dos veículos testados variou entre 1,463 km/l e 1,785 km/l, com uma amplitude de 19,8% sobre o centro do intervalo de variação.

Na figura 7.1 verifica-se que os veículos 2367 e 2481 tiveram desempenho muito semelhante.

A Tabela 16 mostra um resumo dos resultados globais para o teste de desempenho em frota, com os caminhões da Engemix operando com a mistura B5.

Tabela 16: Resumo dos resultados de desempenho em frota Engemix

Testes com Biodiesel B5				
Engemix – Programa do Governo Federal – Modelo VW 26-260E (com Repto)				
Dados dos Veículos	1 Veículo	2 Veículo	3 Veículo	4 Veículo (sombra)
Motor	MWM Int 'l Acteon 6.12 TCE Potência máxima – 191 Kw @ 2500 rpm Toque máximo – 900 Mn @ 1300-1900 rpm Cilindrada – 7.2 litros Nível de Emissões – Euro 3			
Combustível	Diesel B5 (Biodiesel de Mamona)			Diesel B2/B3
Número do Chassi	6R619010	6R618900	7R719908	6R617968
Tração	6x4			
Entre Eixo (mm)	4800			
Número da Frota	2367	2365	2481	2407
Placa	ANV 2992	ANV 2993	AOY 1754	ANU 7989
Data de Fabricação	04/2006	04/2006	04/2007	03/2006
Num. Série do Motor	F1A006416	F1A006414	F1A12731	F1A005736
Km inicial	28.627	21.422	13.039	18.086
Km final	52.335	44.198	42.881	39.530
Km total	23.708	22.776	29.842	21.444
Horímetro inicial (h)	1.868	1.934	1.245	1.516
Horímetro final (h)	3.809	4.053	3.595	2.739
Horímetro total (h)	1.941	2.119	2.350	2.223
Consumo (km/l)	1,58	1,36	1,59	1,61
Data da Atualização (Início dos testes)	13/12/2007	14/12/2007	20/12/2007	28/12/2007
Data da Atualização (final dos testes)	16/12/2008	17/12/2008	19/12/2008	17/12/2008

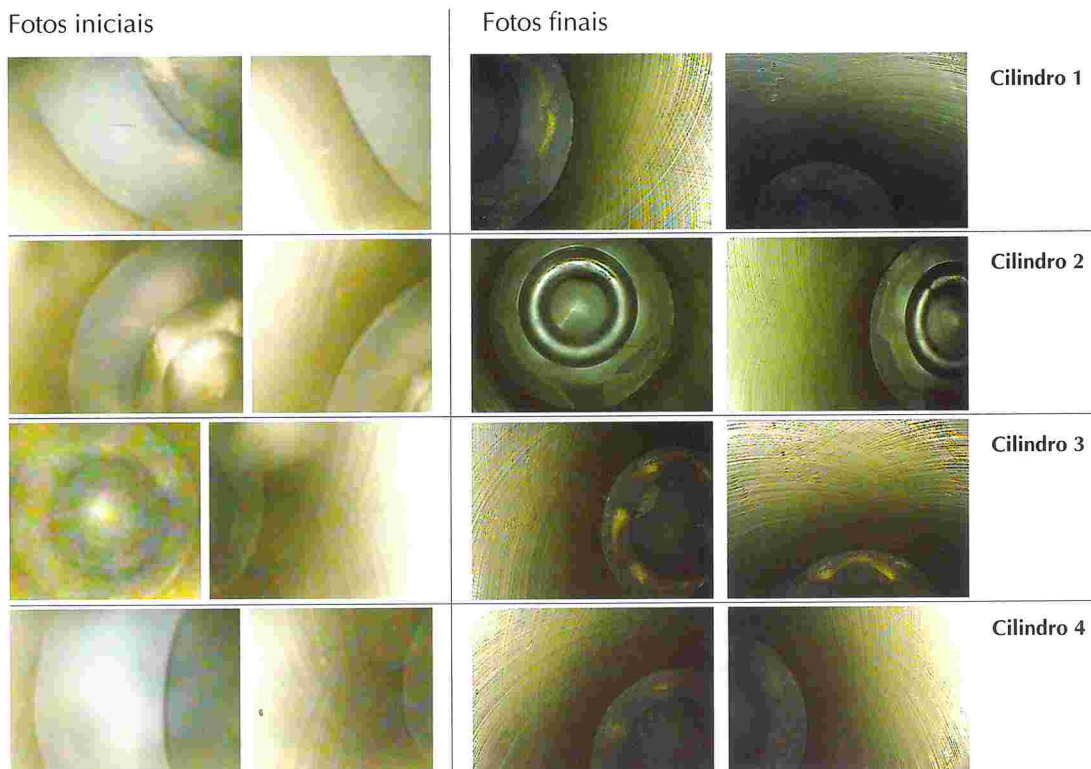
5.4.3.3. Avaliação do Motor

Objetivando avaliar a aplicação do biodiesel (éster metílico de óleo de mamona) na proporção de 5% ao óleo diesel em motores Acteon, seis cilindros aplicados em veículos Acteon VW 26.260 E, foram verificados por boroscopia as partes internas e componentes do motor em geral, pela MWM International.

Na inspeção visual, não foram identificadas anomalias nas câmaras de combustão ou na parte superior dos pistões. O conjunto foi encontrado limpo, sem comprometimento das ranhuras nas camisas e sem depósito de material. A boroscopia final não apresentou corrosão ou desgaste aparente nas camisas, concluindo-se que a utilização de biodiesel em 5% do diesel comercial não afeta o desempenho geral do motor.

Na análise inicial com boroscópio, os motores encontravam-se em perfeita condição de utilização e, ao final do teste, na checagem final com o boroscópio, notou-se que as condições dos motores mantiveram-se ideais em nível de desgaste das camisas (sem danos ao brunimento) e no aspecto dos pistões (baixa carbonização), levando-se em conta a rodagem e aplicação dos mesmos (Figura 80).

Figura 80: Sequência fotográfica do motor com boroscópio antes e após o uso do B5



5.4.3.4. Avaliação do Sistema de Injeção do Combustível

O sistema de injeção que utilizou o B5 de mamona foi avaliado pela Robert Bosch e concluiu-se que todos os fluxos estavam normais quando comparados com os bicos de injeção de diesel comercial (B3). Apenas um injetor apresentou pequenos depósitos, sem influência da função e erosão por partículas sólidas (Figuras 81, 82 e 82), provavelmente presentes no combustível utilizado, mas sem complicações efetivas.

Figura 81: Componentes internos da bomba injetora rotativa

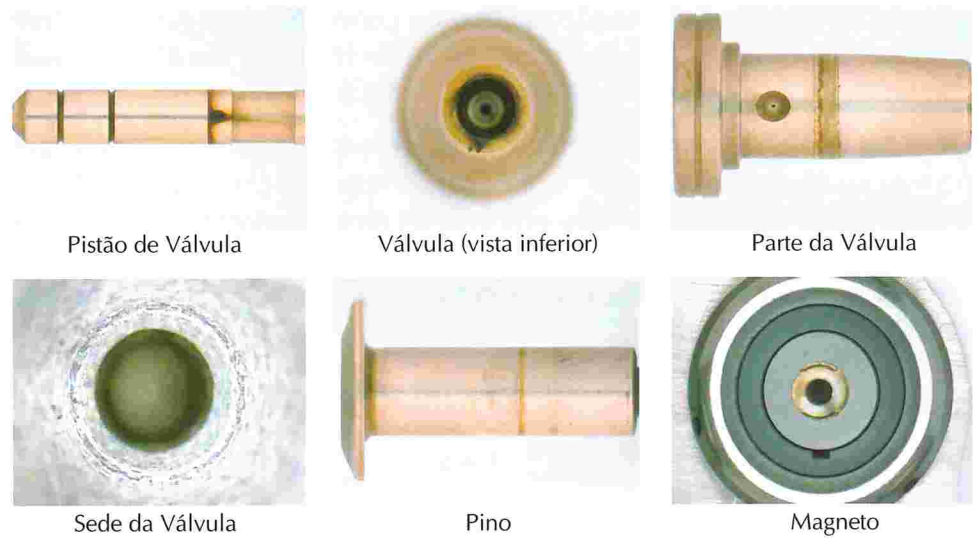


Figura 82: Componentes do bico injetor

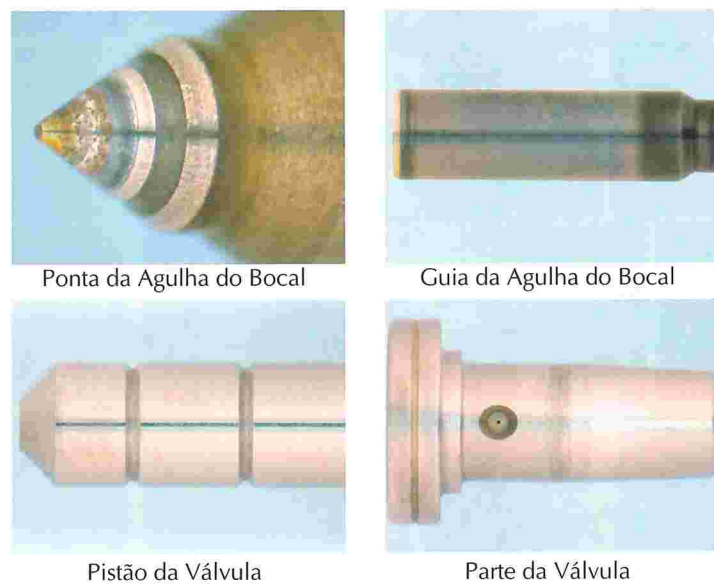
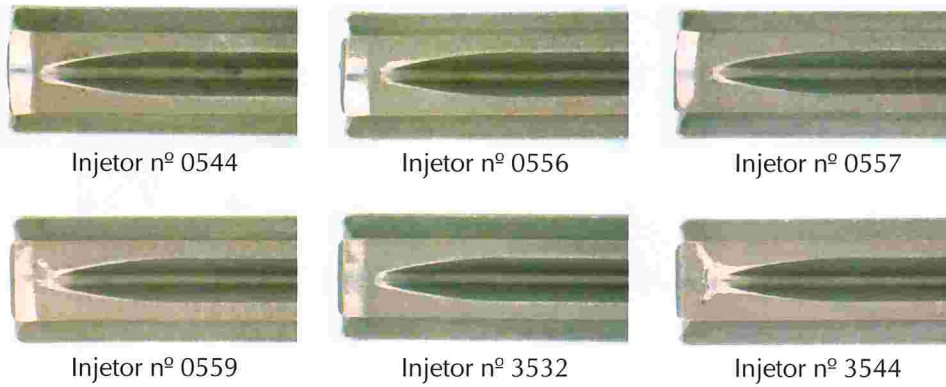


Figura 83: Bicos injetores



As tubulações de alta e baixa pressão foram inspecionadas por macro (Figura 84 e 85) e micrografias (Figura 86 e 87), não sendo verificados defeitos internos e sinais de ressecamento, além da ausência de pontos de corrosão. Pode-se concluir que não houve ataque químico nas partes metálicas dos componentes que estiveram em contato direto com o combustível, tanto nas tubulações de alta pressão como nas conexões das tubulações de tefalon dos dutos de baixa pressão. Não houve, portanto, sinais de oxidação que pudessem comprometer a funcionalidade dos componentes.

Figura 84: Macrografias do tubo de retorno de combustível

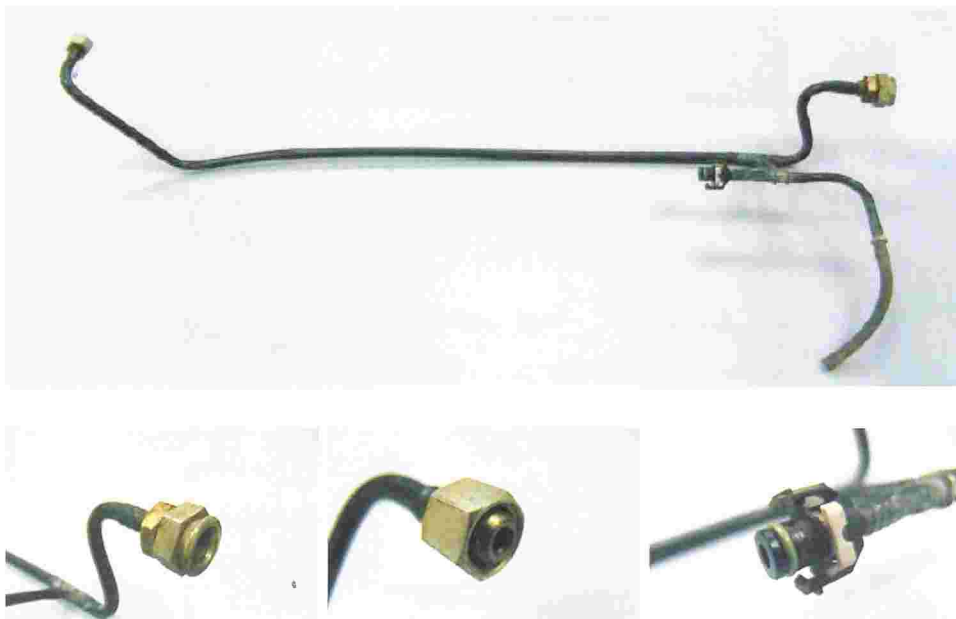


Figura 85: Micrografia do perfil das conexões em corte

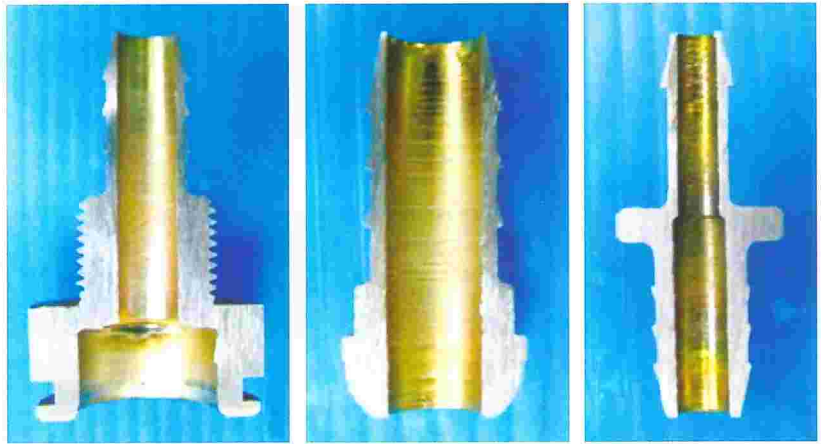


Figura 86: Micrografia da estrutura do núcleo da conexão – matriz férrica

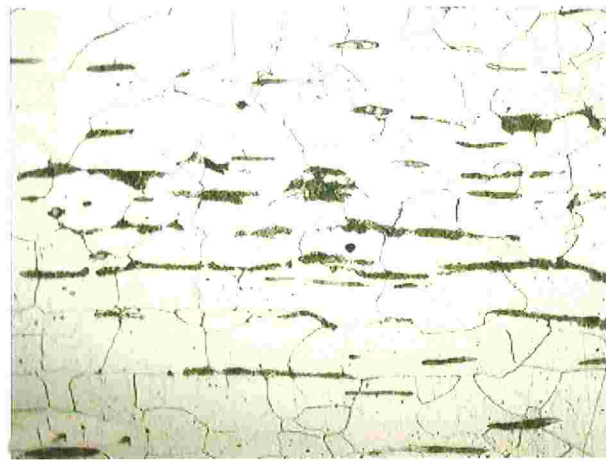
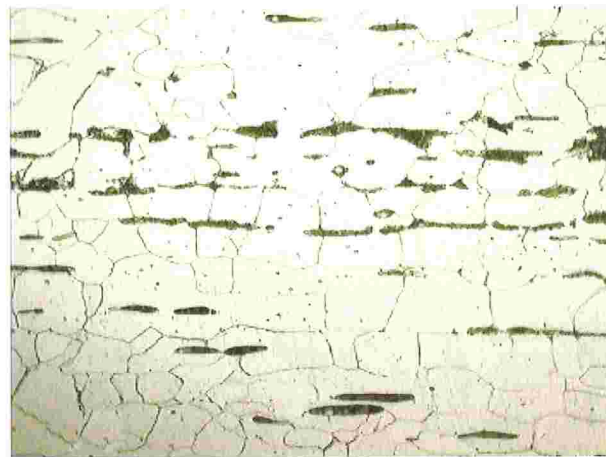


Figura 87: Micrografia da estrutura do núcleo da porca – matriz férrica



Os filtros de combustível do veículo indicaram funcionamento normal, atestando a boa qualidade do combustível devido ao nível de restrição encontrada.

Os filtros de combustível do motor foram analisados quanto a três parâmetros: (i) restrição de fluxo (Tabela 17 e Figura 88); (ii) inspeção visual (Figura 89); (iii) aderência. Todos os filtros foram encontrados em perfeitas condições, com filtragem de acordo com as especificações e sem falhas.

Tabela 17: Restrição de fluxo nos filtros de combustível

Filtro	Restrição na Vazão Nominal do Filtro (90 GPH)
Km 5.331	180 mm Hg
Km 8.625	182 mm Hg
Km 11.893	190 mm Hg
Km 14.518	210 mm Hg
Filtro novo	164 mm Hg

Figura 88: Restrição de fluxo nos filtros de combustível



Fonte: Parker Filtration

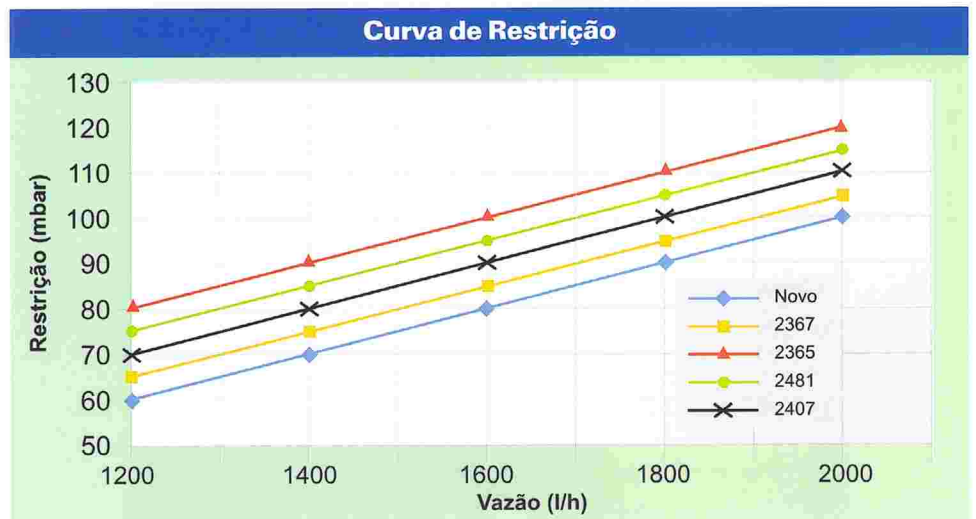
A análise visual dos filtros não revelou nenhum tipo de falha de fabricação ou de material, estando a área filtrante conforme especificado. Verificou-se também que os elementos estavam limpos, sem a presença de substâncias glutinosas e material particulado derivado do combustível.

Figura 89: Lado externo do fluxo de filtragem



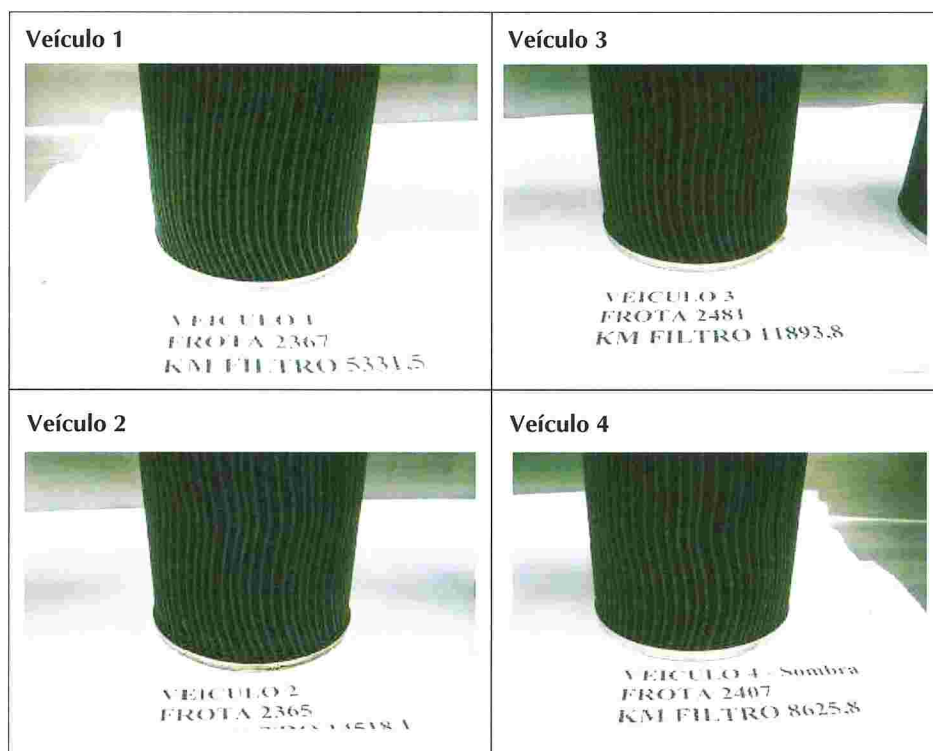
Os filtros de óleo lubrificante apresentavam perfeitas condições de uso após avaliação quanto a restrição de fluxo Δp (Figura 90), inspeção visual (Figura 91) e aderência.

Figura 90: Curva de restrição Δp do fluxo do filtro de óleo lubrificante



Obs: Limite de restrição 100 mbar (By pass spin on 12 ± 0.2 bar)

Figura 91: Partes coladas dos filtros de óleo lubrificante



5.4.3.5. Parecer

Mediante os resultados obtidos durante os testes com a mistura B5 (biodiesel de óleo de mamona), foi constatado que os componentes avaliados não sofreram qualquer tipo de contaminação ou dano em sua utilização, o que levou a Volkswagen Ônibus e Caminhões a aprovar a utilização da mistura B5 para os modelos de veículos VW 26-260E Worker e similares. Esta condição fica vinculada ao cumprimento das especificações do biodiesel, conforme a Resolução ANP nº 07.

5.5. Projeto Unit Injector System (UIS)

5.5.1. Scania – Rodomax – Cascavel – Paraná

5.5.1.1. Apresentação

Para a realização deste teste foi firmado um acordo específico de cooperação técnica que visou a pesquisa técnica e a validação do uso do biodiesel em misturas B5, com as parcerias apresentadas a seguir e que estabeleceu as condições iniciais para a realização de testes de campo durante o período de 24 meses ou 200.000 km (o que ocorrer por último).

1. Scania Latin America Ltda.
2. Robert Bosch Ltda.
3. Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar).
4. Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Combustíveis Alternativos (Probodyesel).
5. Petrobras Distribuidora S.A.
6. Rodomax Transportes Ltda.
7. Battistella Veículos Pesados Ltda.
8. Brasil Ecodiesel Indústria e Comércio de Óleos Vegetais e Biocombustíveis Ltda.

As características da frota-teste estão descritas na Tabela 18.

Tabela 18: Características do testes com B5 em veículos Scania

Transportadora	Rodomax Transportes
Veículos-teste	Scania R 420 GA4X2NZ com motor DC12 01 L01 Euro 3 e sistema de injeção UIS Bosch PDE
Objetos de teste	Avaliar a influência do biodiesel B5 de soja e mamona na funcionalidade e integridade de motor, sistemas e componentes
Tipo de operação	Transporte pesado de longa distância
Tipo de carga	Carga seca
Tipo da composição:	Carreta bi-trem
Fornecedora do B5	Petrobras Distribuidora
Fornecedora do B100	Brasil Ecodiesel

Na cidade de Cascavel, Paraná, foram realizados testes com três veículos Scania R 420 GA4X2NZ (Figura 92), com motores Scania DC 12 01 L01 (Euro 3) e equipados com sistema de injeção de combustível Bosch PDE (Unit Injector System – UIS), com o objetivo de avaliar a influência da mistura B5 no desempenho, desgastes de componentes, consumo de combustível e emissões de poluentes.

Os testes foram realizados pela empresa Rodomax Transportes Ltda., com a operação monitorada em aplicação rodoviária, com transporte de carga seca entre as cidades de Foz do Iguaçu e Paranaguá, fazendo uso de posto de abastecimento cativo.

Todos os motores eram novos e seus sistemas de injeção sofreram processos de protocolamento para avaliação comparativa ao final do teste, B5 X óleo diesel.

Figura 92: Caminhão Scania R 420 em teste com B5 em Cascavel



O biodiesel B100 foi produzido com base nos óleos de soja e mamona na forma de ésteres metílicos. As misturas B5 foram compostas por estes biodieséis e pelo óleo diesel interior S2000. E este teste recebeu a Autorização nº 456, da ANP em 12 de dezembro de 2007.

O posto de estocagem e abastecimento dos três combustíveis (óleo diesel, B5 base soja e B5 base mamona), como visualizado na Figura 93, foi composto por três tanques de 15 mil litros. Os tanques foram equipados com bomba de abastecimento e sistema de filtragem, disponibilizados pela Petrobras Distribuidora S.A. (BR), que adquiriu o B100 diretamente da empresa Brasil Ecodiesel, através do projeto Probiodiesel, e efetuou as misturas B5 em sua base de operações na cidade de Londrina, Paraná.

Figura 93: Infraestrutura de abastecimento de óleo diesel (B2/B3) e misturas B5 da Rodomax



5.5.1.2. Desempenho em Frota

A Scania Latin América efetuou o monitoramento técnico dos veículos, motores e seus sistemas periféricos, juntamente com seus fornecedores na concessionária Battistella Veículos Pesados.

O teste foi preparado segundo os seguintes procedimentos:

Os motores, tanques de combustível, filtros de combustível e elementos separadores de água do combustível dos cinco caminhões foram trocados imediatamente antes do início dos testes de campo por componentes novos;

1. Os motores montados nos caminhões foram previamente testados em banco de testes de desenvolvimento da Scania, em São Bernardo do Campo/SP, para o levantamento das curvas de torque, potência, consumo específico de combustível e a tomada de dados de emissões (HC, CO, NOx, material particulado e opacidade em aceleração livre (método de absorção de luz – de acordo com NBR 12897 e NBR 13037);
2. Em banco dinamométrico, os motores foram testados com todos os combustíveis experimentais, para efeito de protocolamento de dados de desempenho e emissões antes do início do teste;
3. As unidades injetoras dos cinco motores foram protocoladas pela Bosch, em Curitiba/PR, antes do início dos testes;
4. Filtros de combustível, elementos separadores de água do combustível, óleo e filtros de óleo lubrificante dos motores foram substituídos a cada duas trocas da carga de óleo, seguindo o plano de manutenção ordinário dos caminhões Scania para o tipo de operação aplicado nos testes de campo;
5. Revisões, trocas e coletas de amostra foram feitas exclusivamente na concessionária Scania Battistella de Cascavel/PR;
6. Filtros, tampas de válvula e bocais de enchimento foram lacrados antes do início dos testes de campo e tinham os lacres renovados a cada troca de filtro;
7. A opacidade em aceleração livre de cada caminhão foi medida a cada três meses;
8. Amostras de combustível B5 e B100 foram coletadas pela Petrobras a cada recebimento da Brasil Ecodiesel e a cada abastecimento dos tanques instalados na transportadora Rodomax. Essas amostras foram enviadas pela Petrobras para análise pelo Tecpar.

Não foram observados efeitos na funcionalidade dos motores e nem mesmo na dirigibilidade dos veículos. Os dados para o consumo de combustível indicaram que a variação nas autonomias dos veículos com B5 frente aos veículos operados com óleo diesel mantiveram-se estáveis.

Os dados registrados nos 110 mil quilômetros de teste para o B5 de soja e de 50 mil km para o B5 de mamona estão demonstrados na Tabela 19.

Tabela 19: Descrição da frota-teste e resultados de desempenho

Nº Chassi Nº Motor	Combustível Nome de identificação do motor	Final do teste	Início do teste		Quilometragem percorrida (km)	Quantidade abastecida (litros)	Consumo de combustível (Km/l)
			Data	km			
3578304 8092946	B5 Soja SILVIA	Julho/09	2007/10/19	225.129	171.498	96.299	1,78
3593158 8094554	B5 Soja SARA	Julho/09	2007/10/18	125.955	189.430	106.070	1,79
3578462 8092948	B5 Mamona MARIA	Julho/08	2008/02/01	263.570	55.451	31.506	1,76
3593152 8094553	B5 Mamona MÔNICA	Julho/08	2008/02/01	171.119	53.525	29.027	1,84
3578413 8092947	Diesel S2000 DIANA	Julho/09	2007/10/19	241.651	196.482	110.711	1,77

Com relação aos testes realizados com B5, apenas no veículo operado com mistura de mamona observou-se que as unidades injetoras dos motores, que foram analisadas pela Bosch, apresentaram um decréscimo de pressão de injeção dos bicos, fator que influencia diretamente o desempenho do motor.

5.5.1.3. Avaliação do Motor

Os motores com B5 de soja somente foram removidos para inspeção completa ao final do teste, com aproximadamente 200 mil quilômetros. Não foi observada qualquer ocorrência com o motor e seus sistemas.

Para o B5 base mamona, não foram identificados danos aparentes nos motores dos veículos quando da interrupção deste teste.

5.5.1.4. Sistema de Injeção

Para os sistemas operados com B5 de soja, uma análise completa está em realização, porém nenhuma irregularidade foi observada em sua funcionalidade.

O sistema de injeção de combustível operado com B5 de mamona foi inspecionado pela Robert Bosch quando da interrupção do teste, indicando que os níveis de variação de débito e de rísetime encontram-se dentro de seu limite (5%), porém houve uma variação maior de pressão (máxima de 12,4%), que poderia ser causada por desgaste no assento da válvula ou erosão por partículas.

Os mapas de débito apresentaram significativa piora em relação aos mapas iniciais, mostrando uma grande área de instabilidade na faixa de trabalho do motor, além da queda do nível de débito.

Com base nos dados obtidos na análise dos bicos injetores, essa falha pode não ter relação com a utilização do B5 de mamona. Os demais parâmetros de avaliação estão conforme prescrição.

Para os sistemas operados com B5 base soja, apenas uma possível irregularidade com o sistema de filtragem encontra-se em análise pela Scania e seus fornecedores. Para o sistema de injeção nada foi observado de irregular.

5.5.1.5. Parecer

Em observações preliminares em torno de 200 mil quilômetros de operação com a mistura B5 base soja, não se evidenciou qualquer ocorrência que desqualifique o teste.

Observa-se que a troca dos filtros de combustível foi realizada com maior frequência, conforme relato do frotista, especialmente quando a temperatura ambiente cai a menos de 6°C.

Para o B5 base mamona, foram observados leves efeitos de desgaste em componentes do sistema de injeção UIS, com reflexo na funcionalidade do sistema.

O teste foi interrompido em função de que o B100 de mamona até então utilizado, qualificado pela especificação da Resolução ANP 42/2005, não atenderia aos requisitos da nova Resolução ANP 07/2008, mais rigorosa tecnicamente; portanto, o teste estaria sendo realizado a partir de um B100 não mais permitido para comercialização no Brasil.

6. Caracterização e Resultados dos Testes em Banco Dinamométrico

6.1. Considerações

De forma paralela e simultânea aos testes com o biodiesel em frotas veiculares, foram realizados testes e ensaios com o biodiesel de soja e mamona em banco dinamométrico. O objetivo foi avaliar o desempenho e as emissões de poluentes dos motores, com o uso de diversas proporções de biodiesel ao óleo diesel. Esses testes e ensaios consubstanciam os resultados dos testes em frota.

A escolha desses dois tipos de biodiesel se deu em razão: (i) de ser o óleo de soja a matéria-prima mais utilizada na produção do biodiesel no Brasil. (ii) pelo biodiesel de mamona apresentar propriedades físico-químicas distintas da maioria dos biodieseis produzidos, o que foi motivo de maior preocupação.

6.2. Fabricantes de Motores

6.2.1. Common Rail – Ford

6.2.1.1. Apresentação

Para a realização deste teste foi firmado um acordo específico de cooperação técnica que objetivou a pesquisa da influência do uso do biodiesel em motores, no que se refere ao seu desempenho e emissão de poluentes, com as seguintes empresas/instituições parceiras:

1. Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras);
2. Ford Motor Company Brasil Ltda (Ford);
3. MWM-International Indústria de Motores da América do Sul Ltda.;
4. Mahle Metal Leve S.A.;
5. Continental Brasil Indústria Automotiva Ltda.;
6. TI Automotive;
7. Michelin do Brasil;
8. Federação das Indústrias do Estado da Bahia (Fieb);
9. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb);
10. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Governo do Estado da Bahia (Secti); e
11. Universidade Salvador (Unifacs).

As características da frota-teste estão descritas na Tabela 20.

Tabela 20: Características do teste em dinamômetro na Ford

Laboratório	MWM-International – Dinamômetro de veículo
Veículos-teste	Ford Ranger equipado com motor MWM International modelo NGD 3.0E e sistema de injeção de combustível tipo “Common Rail”
Objetivos do teste	Avaliar a influência do biodiesel B5 de soja e mamona no desempenho e emissão de poluentes em relação ao óleo diesel
Tipo da composição	Caminhonete
Fornecedora do B5	Petrobras Distribuidora
Fornecedora do B100	Petrobras/Cenpes

6.2.1.2. Desempenho

Os resultados dos testes em banco dinamométrico demonstraram que os motores analisados apresentaram curvas de potência e de torque dentro dos limites normais, sendo muito próximos os resultados observados utilizando-se a mistura B5 de soja e de mamona (origem metálica), em relação ao óleo diesel. Os valores encontrados para o consumo de combustível também foram satisfatórios, mantendo-se desde a fase inicial até o final do teste, após 100.000 km rodados.

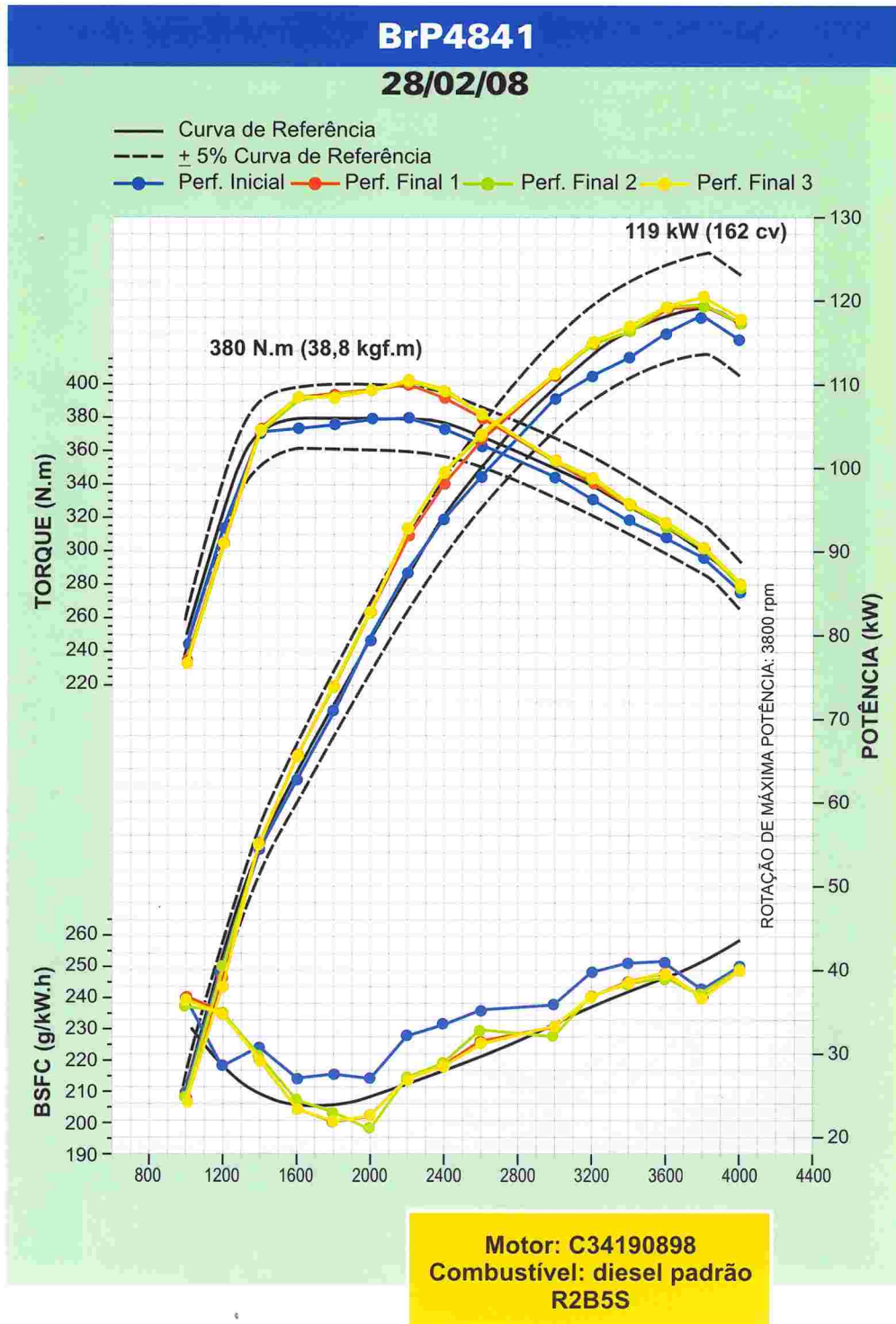
Observou-se que a potência média dos motores variou na faixa de 1% a 5%, representando aumentos da potência desta ordem ao final do ensaio. Não houve variação significativa de potência para o mesmo veículo operando com diesel ou com as misturas B5.

Analogamente, observa-se uma redução média de consumo específico de combustível, variando de 1% a 5% após 100.000 km nos veículos que rodaram com óleo diesel e com B5 de soja, e um pequeno aumento de 1% a 2% nos veículos que rodaram com B5 de mamona.

Variações de potência e consumo da ordem de 5% estão dentro da variação aceita como normal em testes de motores em dinamômetro. Assim sendo, todos os motores mantiveram-se em estado operacional normal após 100.000 km rodados por cada um deles.

Como demonstração gráfica, nas figuras 94, 95, 96 e 97 estão as curvas de dois motores ensaiados com o par óleo diesel padrão x B5 base soja e óleo diesel padrão x B5 base mamona.

Figura 94: Curvas de desempenho do motor C34190898, utilizando diesel padrão.



Fonte: International Engines

Figura 95: Curvas de desempenho do motor C34190898, utilizando B5 de soja

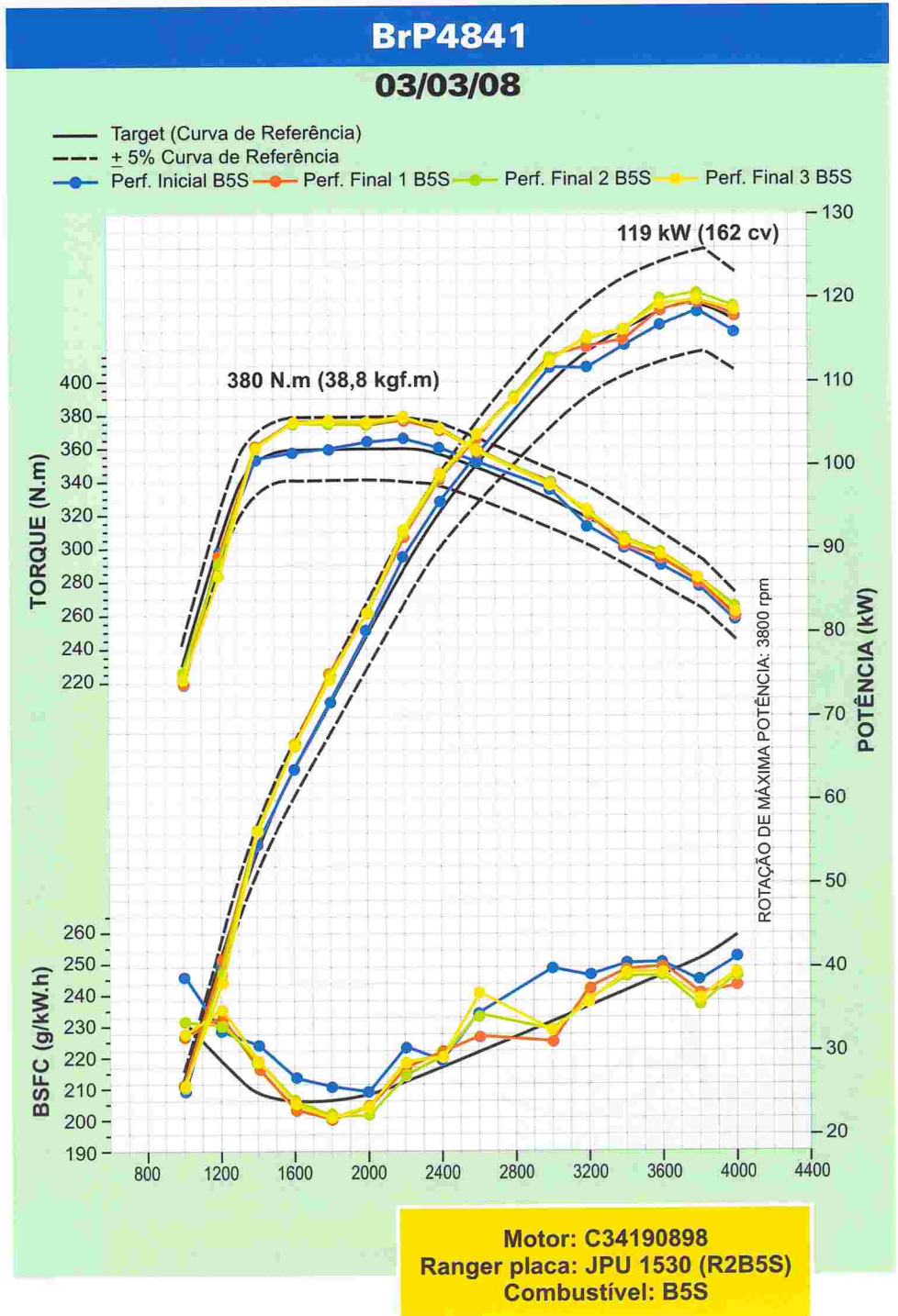
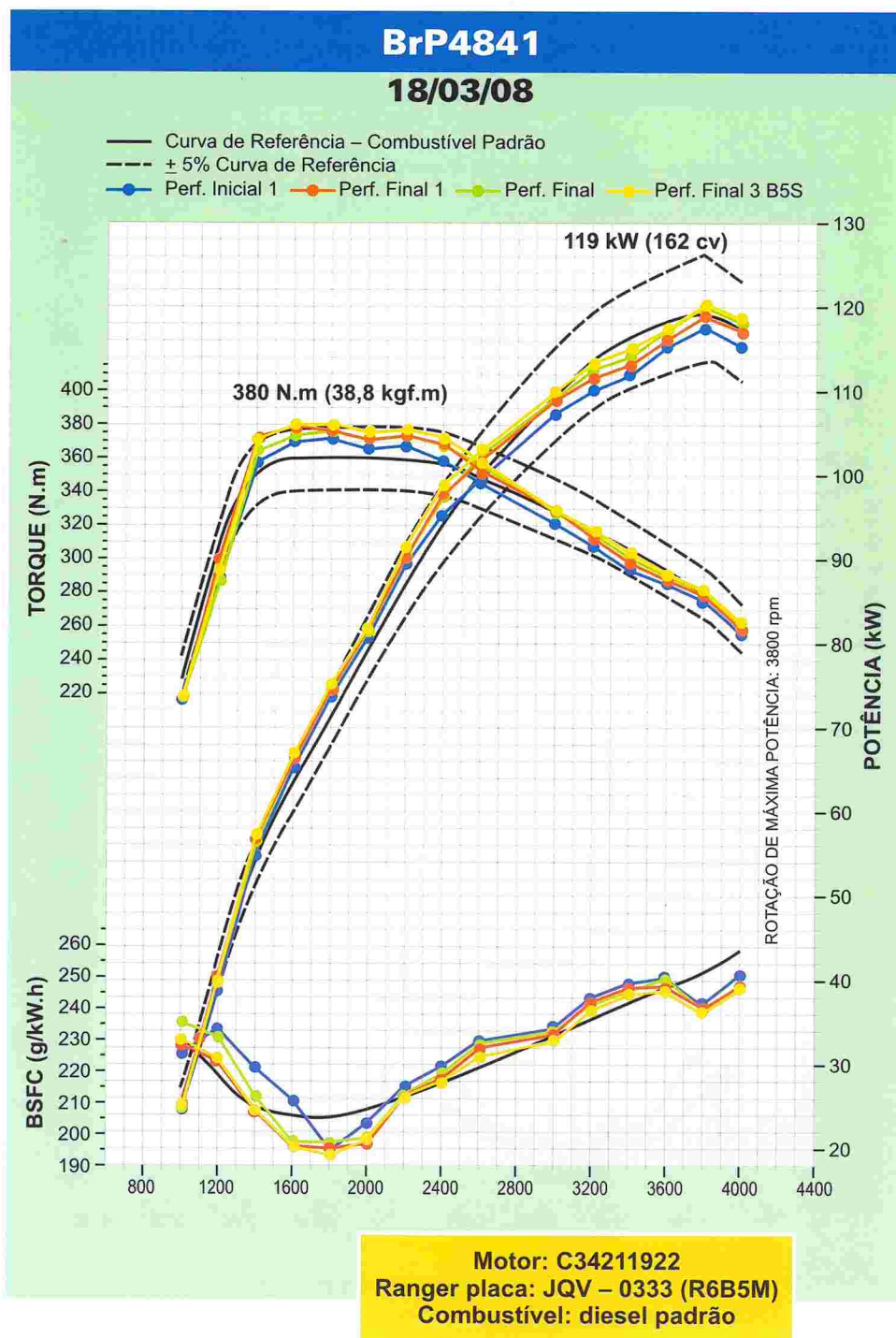
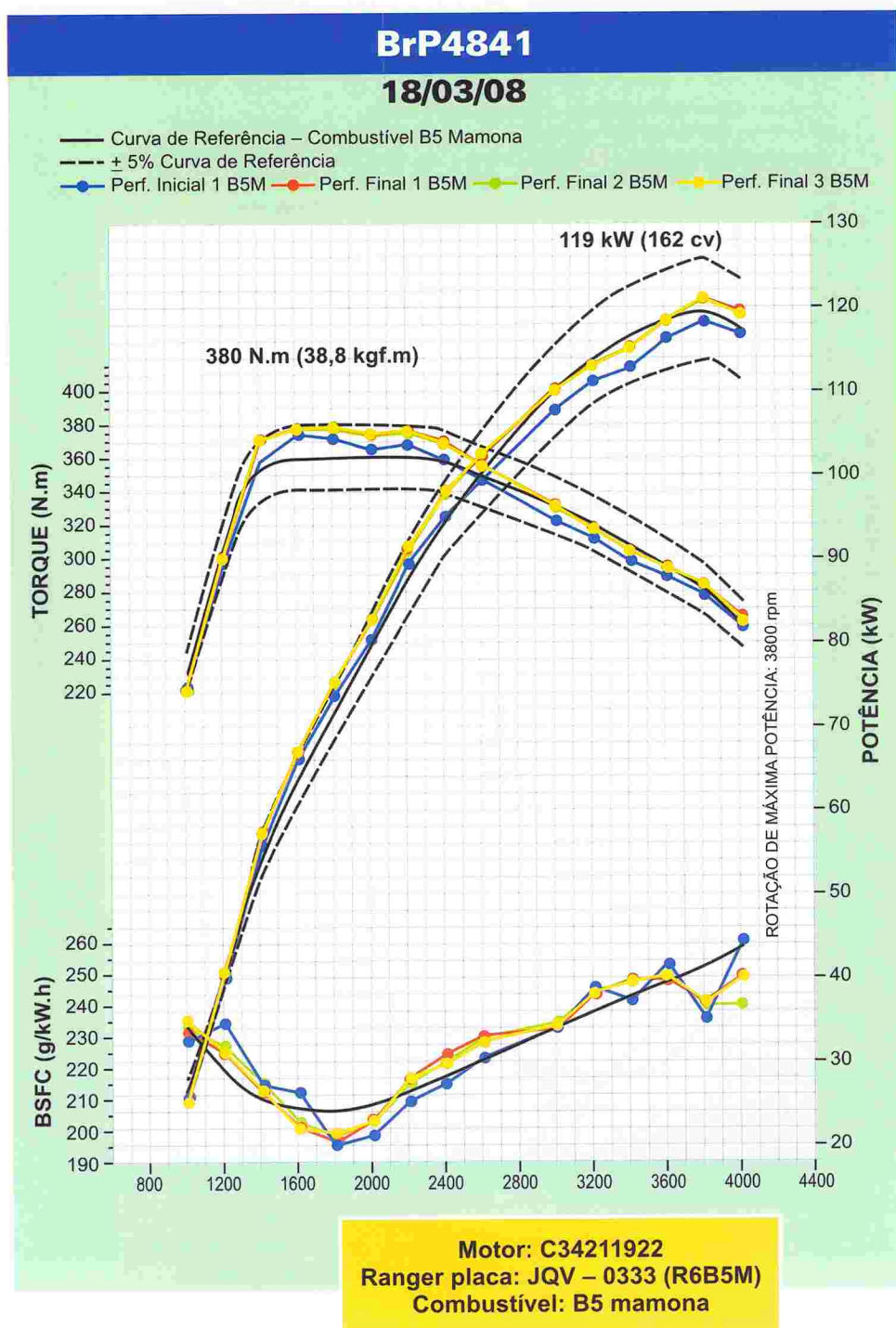


Figura 96: Curvas de desempenho do motor C34211922, utilizando diesel padrão



Fonte: International Engines

Figura 97: Curvas de desempenho do motor C34211922, utilizando B5 de amona.



6.2.1.3. Emissões

As emissões de CO, HC e NOx foram medidas no início e após os 100.000 km rodados. A linha vermelha representa o limite regulamentado pela legislação Conama P5, na qual se enquadra o tipo de motor utilizado.

Foi realizada a comparação das emissões de cada motor para se avaliar a degradação das emissões em relação ao estado inicial, com cada um dos combustíveis após 100.000 km de uso. Visualmente os resultados podem ser observados nas figuras 98, 99, 100, 101, 102 e 103, a seguir.

Figura 98: Emissões de NOx (Diesel X B5 Soja X B5 Mamona) antes e após 100.000 km



Figura 99: Emissões de CO (Diesel X B5 Soja X B5 Mamona) antes e após 100.000 km

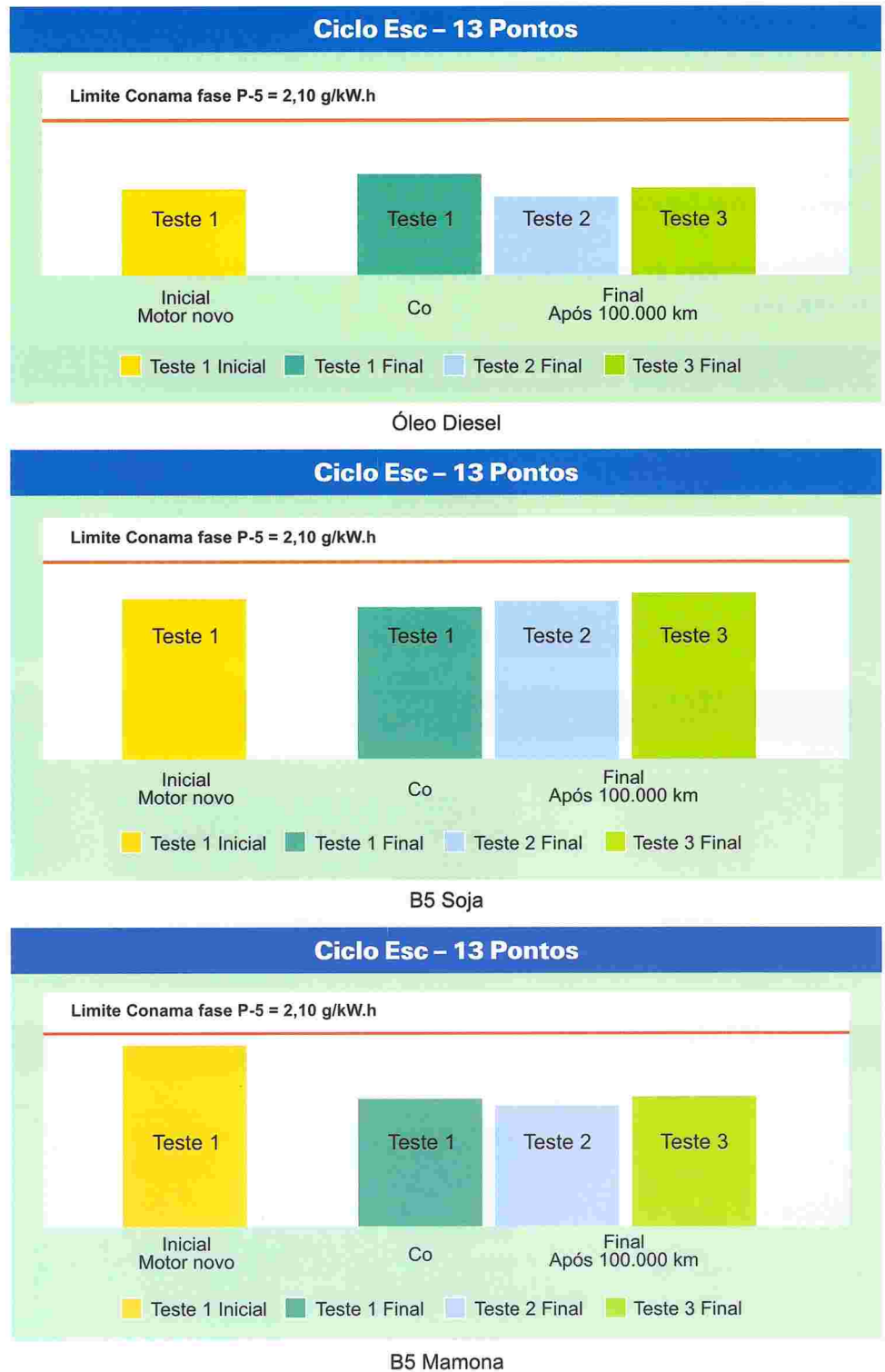


Figura 100: Emissões de HC (Diesel X B5 Soja X B5 Mamona, antes e após 100.000 km

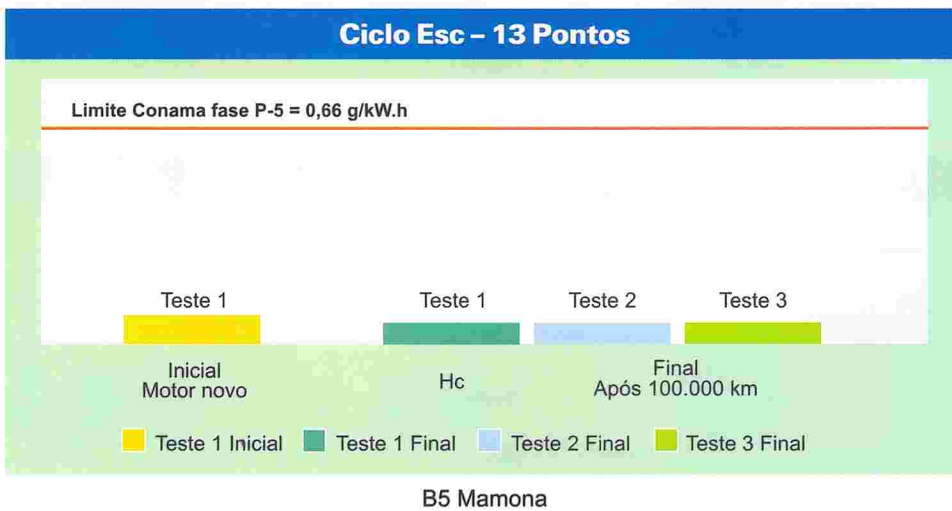
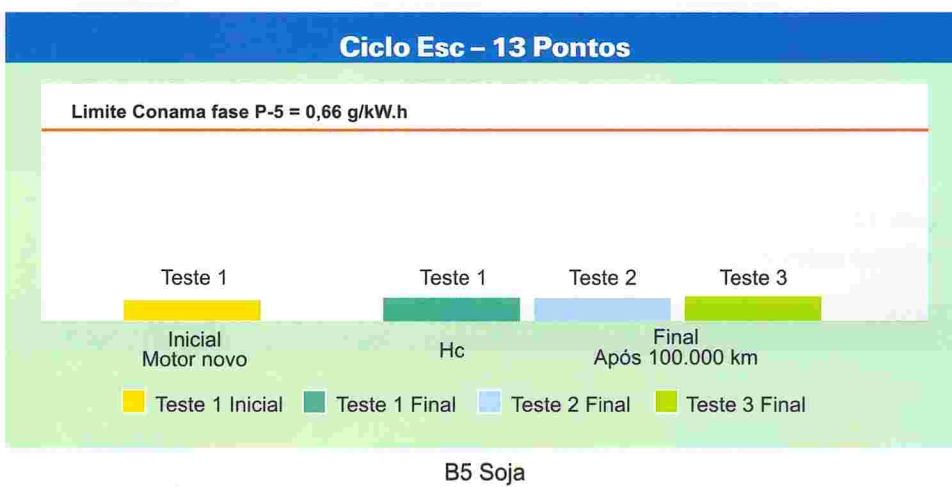
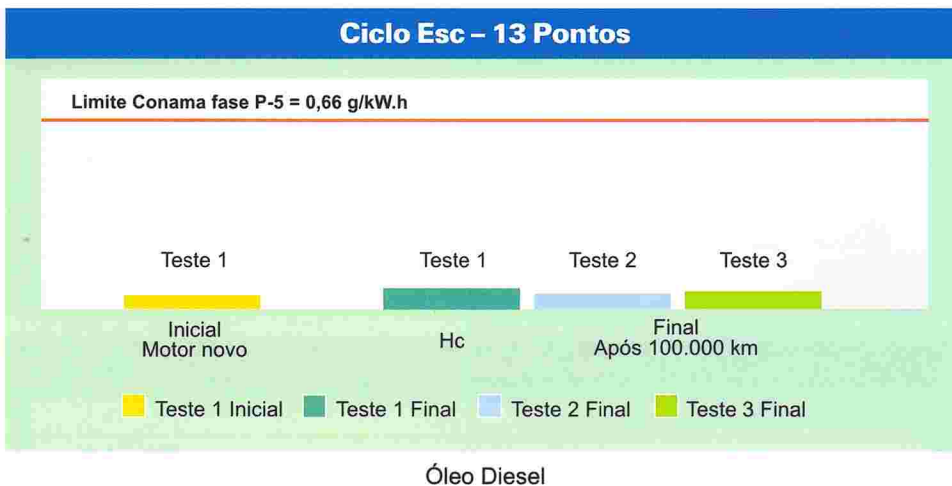


Figura 101: Comparativo das emissões de NOx (Diesel X B5 Soja e Diesel X B5 Mamona) antes e após 100.000 km

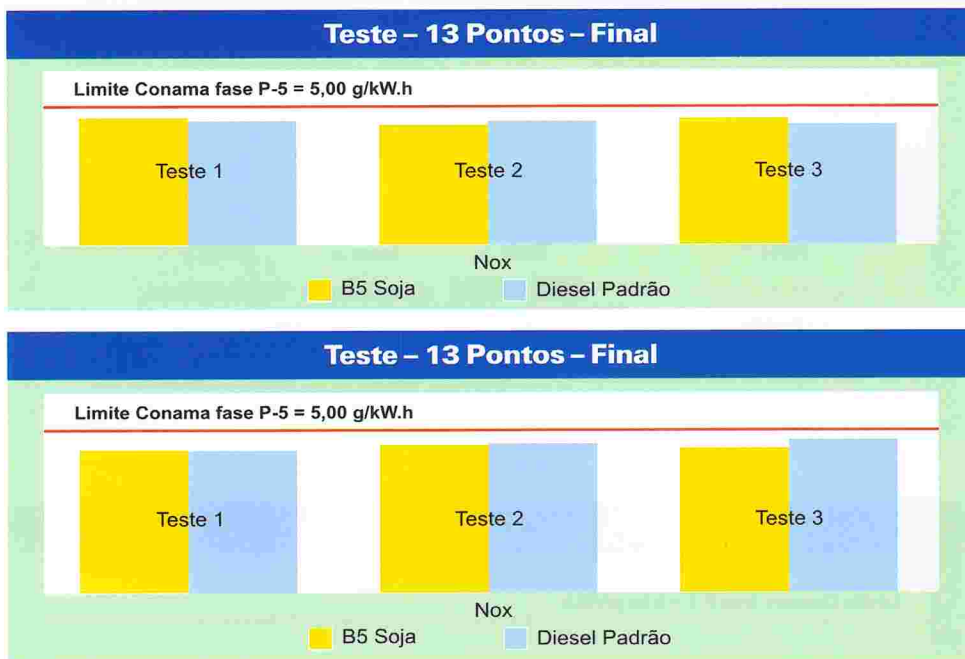


Figura 102: Comparativo das emissões de CO (Diesel X B5 Soja e Diesel X B5 Mamona) antes e após 100.000 km

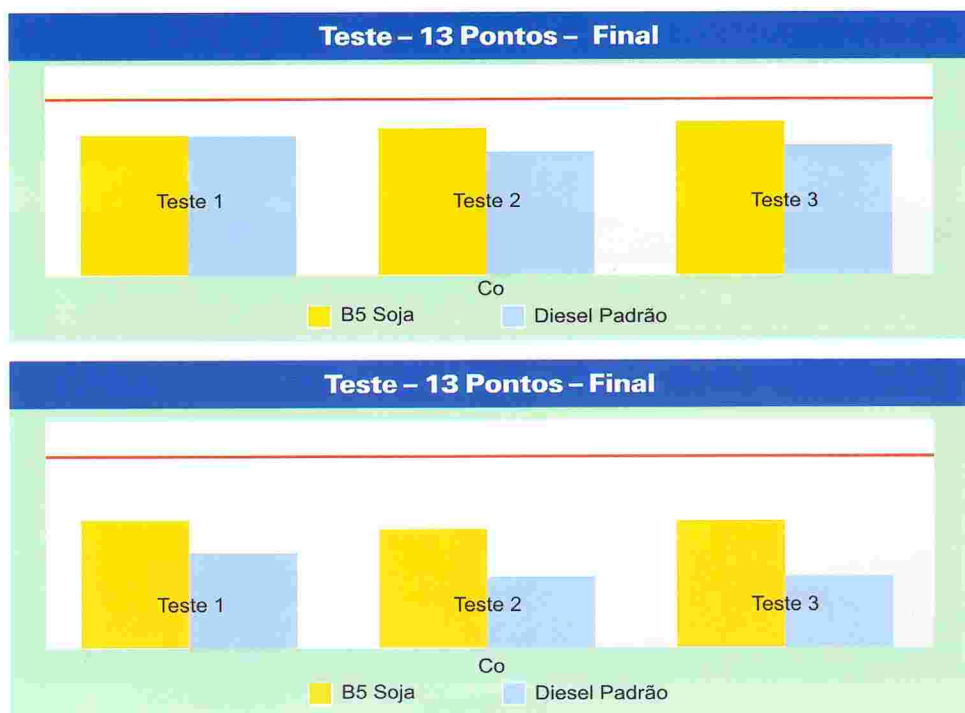
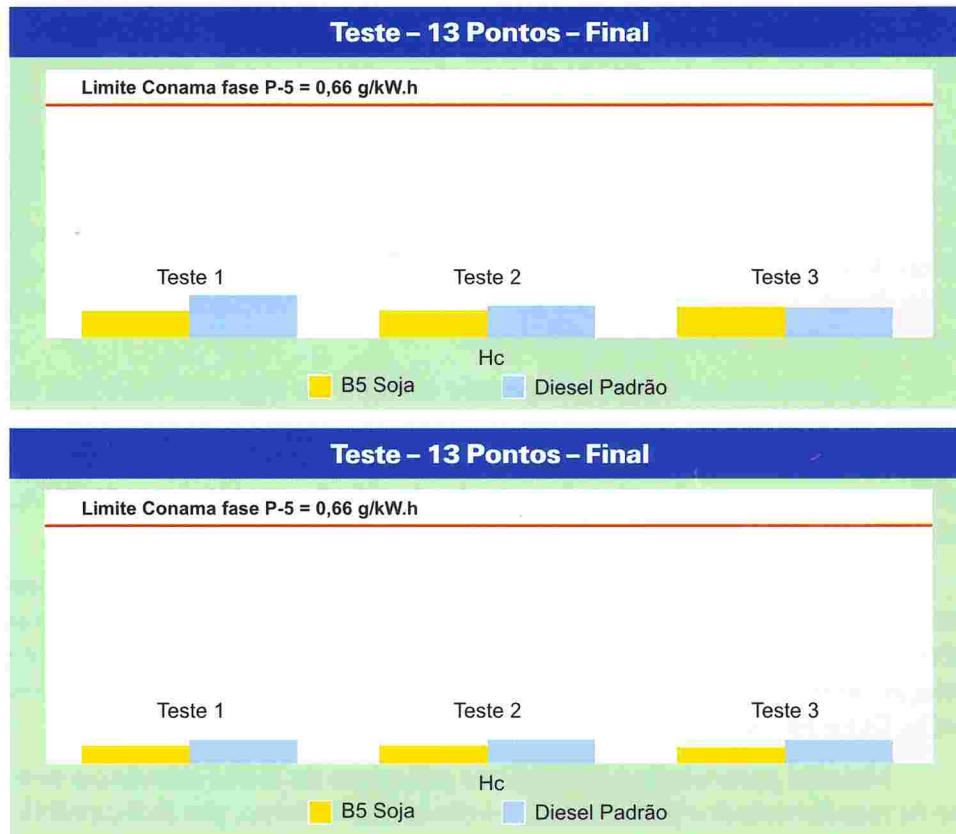


Figura 103: Comparativo das emissões de HC (Diesel X B5 Soja e Diesel X B5 Mamona) antes e após 100.000 km



Calculando-se a média dos três resultados de cada poluente, em cada motor, obtidos na fase final do projeto, e fazendo-se a razão desta média com o valor obtido na fase inicial para o mesmo poluente e motor, obtém-se um fator, demonstrado na Tabela 21, que indica a degradação das emissões ocorrida do início ao final do teste de campo.

Tabela 21: Fator de degradação das emissões

Fator de Degradação das Emissões (Final/Inicial)			
Veículo	NOx	CO	HC
R1D	0,94	1,01	1,06
R2B5S	0,98	1,00	1,06
R3B5S	0,98	1,09	1,13
R6B5M	0,99	0,85	0,82

Tomando-se como referência o veículo diesel, constatou-se um fator de degradação muito pequeno para CO e HC, e no caso do NOx, até uma pequena melhora. As variações, de degradação ou de melhoria, em torno de 6%, observadas no veículo de referência, são normais, considerando-se as incertezas inerentes aos ensaios de emissões.

Comparando-se os veículos que rodaram com B5 de soja com o de referência (diesel), observa-se que o veículo operado com B5 de soja (R2B5S) apresentou degradação idêntica ao veículo de referência em CO e HC. O motor do veículo R3B5S apresentou degradação levemente mais alta, em torno de 8% para CO e 7% para HC, também em relação ao motor do veículo diesel (R1D). Com relação ao NOx, ambos os veículos apresentaram melhoria, porém inferior à da referência.

Comparando-se o veículo operado com B5 de mamona (R6B5M), os fatores de degradação de emissões de todos os poluentes melhoraram em relação ao início do teste. No caso de CO e HC, apresentaram resultados melhores se comparados aos do veículo de referência. No caso do NOx, manteve-se praticamente igual à condição inicial do projeto.

Conclui-se, de uma forma geral, que os quatro veículos avaliados chegaram ao final dos 100.000 km em condições satisfatórias, com pequenas alterações de melhoria ou de degradação das emissões dos poluentes analisados em relação ao estado inicial dos veículos, mantendo-se as emissões dos poluentes NOx, CO e HC dentro dos limites especificados para o tipo de motor.

Material particulado e NOx são os poluentes de maior relevância dentre os regulamentados para os motores diesel. No entanto, por indisponibilidade de equipamentos na época das avaliações dos motores no fabricante, a medição de material particulado não foi feita. Alternativamente, o fabricante utilizou um parâmetro calculado a partir da medição de opacidade, denominado Mira, usado internamente para estimar a emissão de material particulado. Tal método é menos preciso que a medição direta, mas é utilizado pela indústria como indicativo aproximado das emissões de MP.

Avaliando-se a variação do MIRA ocorrida antes e após o teste de campo, e tomando-se como referência o veículo diesel, verificou-se que os veículos R2B5S e R3B5S apresentaram uma redução média de 11% de MP, e que o veículo operado com B5 de mamona (R6B5M) apresentou um aumento de 3% de MP. Esses valores de MP calculados estão abaixo dos limites da legislação Conama.

6.2.2. Mercedes-Benz – Unit Pump System (UPS)

6.2.2.1. Apresentação

Ensaio realizado nos laboratório da Mercedes-Benz do Brasil para se avaliar a influência do uso do biodiesel em motores tanto no que se refere ao seu desempenho e emissão de poluentes.

As características do teste estão descritas na Tabela 22.

Tabela 22: Características do teste em dinamômetro na Mercedes-Benz

Laboratório	Mercedes-Benz – Dinamômetro de motor
Motor de teste	Motor OM904 LA 130kW e sistema de injeção UPS (Unit Pump System)
Objetivos do teste	Avaliar a influência do biodiesel B5 de soja e mamona no desempenho e emissão de poluentes em relação ao óleo diesel
Tipo da composição	Motor para ônibus urbano
Fornecedora do B5	Shell
Fornecedora do B100	Brasil Ecodiesel

O teste objetivou comparar, em banco dinamométrico, o uso do combustível B5 soja (origem metilica) em relação ao óleo diesel S500 quanto à sua influência no desempenho e emissões. Os resultados foram obtidos com o mesmo motor Mercedes-Benz OM 904LA (Conama Fase P5 – 130 kW/675 Nm) utilizado no teste em frota.

6.2.2.2. Desempenho

Considerando a premissa citada acima, as medidas de potência indicaram acréscimo de até 1%; de torque um acréscimo de até 0,7% e no consumo específico um acréscimo de até 1,6%, conforme ilustrado na Tabela 23.

Tabela 23: Desempenho do motor Mercedes-Benz com B5 de soja

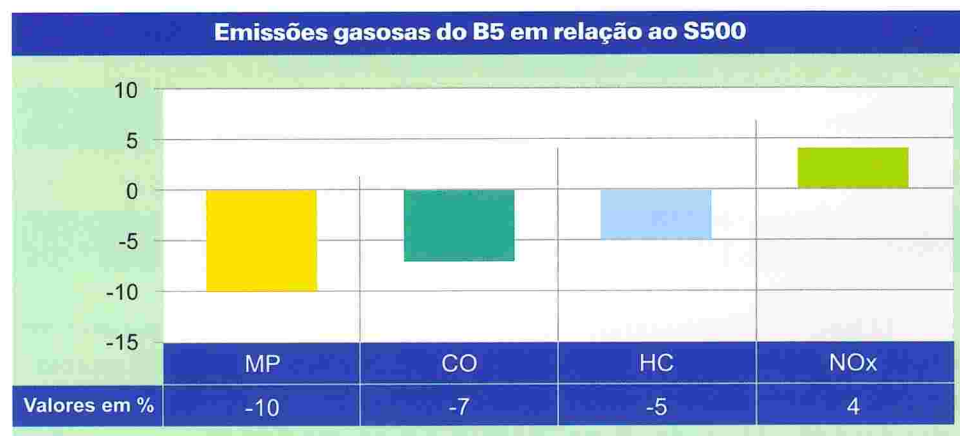
Desempenho motor Mercedes Benz OM 904 LA Euro 3 130 kw				
	Óleo Diesel	B5	Diferença %	Rotação (RPM)
Potência corrigida (kW)	131,3	132,7	+ 1,0	2200
Consumo específico (g/kWh)	220,5	224,1	+ 1,6	2200
Torque corrigido (Nm)	695	700	+ 0,7	1400
Consumo específico (g/kWh)	206,4	207,3	+ 0,4	1400

O acréscimo de potência e torque está dentro da variação admissível dos equipamentos utilizados para medição. As temperaturas e pressões se mantiveram inalteradas.

6.2.2.3. Emissões

Considerando a premissa acima, as medidas indicaram redução de 10% de MP, de 7% de CO, de 5% de HC e um acréscimo de 4% de NOx, conforme ilustrado na Figura 104.

Figura 104: Emissões do motor Mercedes-Benz com B5 de soja



6.2.3. Scania – Unit Injector System (UIS)

6.2.3.1. Apresentação

Ensaio realizado nos laboratórios da Scania Latin America Ltda. para se avaliar a influência do uso do biodiesel em motores, tanto no que se refere ao seu desempenho quanto emissão de poluentes.

As características da frota-teste estão descritas na Tabela 24.

Tabela 24: Características do testes B5 com veículos Scania

Laboratório	Scania – Dinamômetro de motor
Motor de teste	DC12 01 L01 Euro 3 e sistema de injeção UIS Bosch PDE
Objetos de teste	Avaliar a influência do biodiesel B5 de soja e mamona no desempenho e emissão de poluentes em relação ao óleo diesel
Tipo da composição:	Motor para carreta bi-trem
Fornecedora do B5	Petrobras Distribuidora
Fornecedora do B100	Brasil Ecodiesel

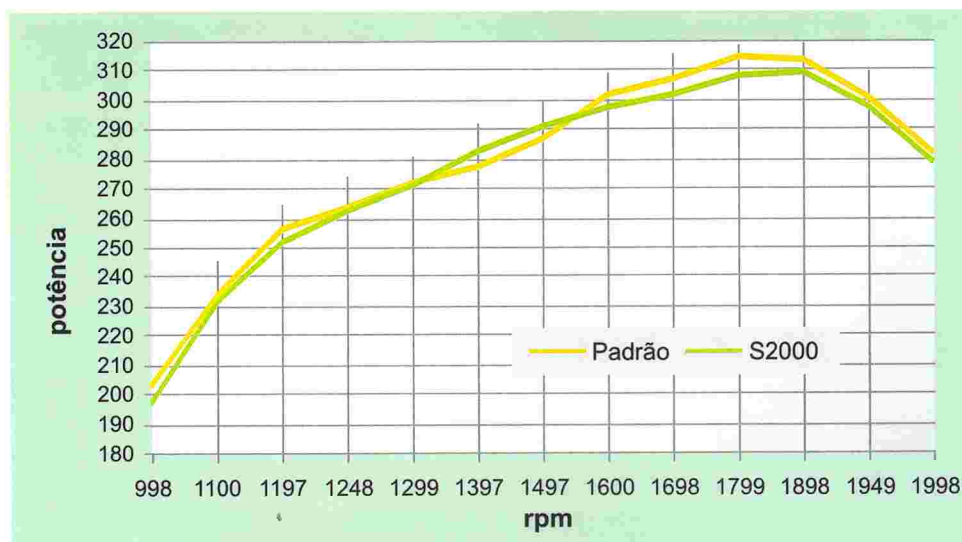
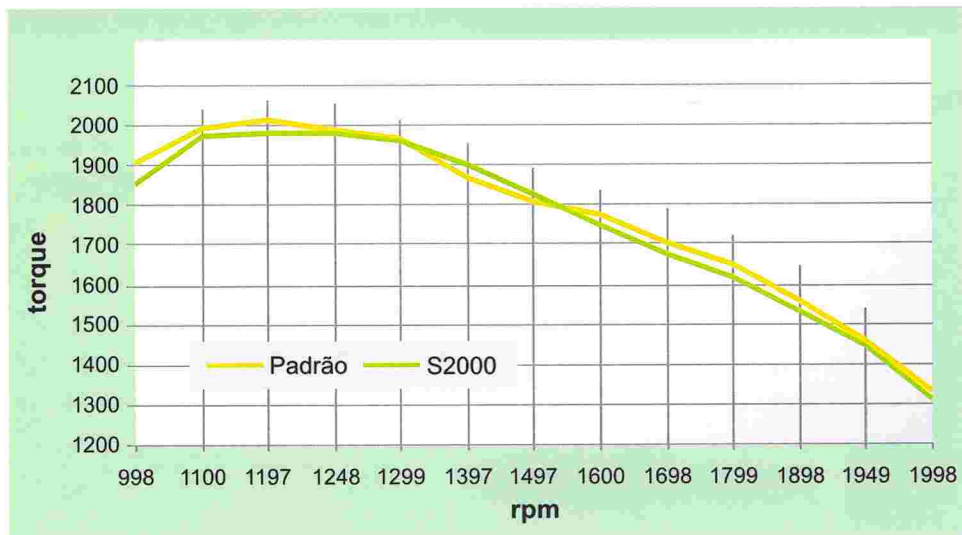
O teste objetivou comparar, em banco dinamométrico, o uso do combustível B5 em relação ao óleo diesel S2000 quanto à sua influência no desempenho e emissões. Os resultados foram obtidos com o mesmo motor Scania DC12 01 L01 Euro 3 com sistema de injeção UIS Bosch utilizado no teste em frota.

6.2.3.2. Desempenho

As curvas do motor para torque, potência e fumaça, medidas pela metodologia do Índice Bosch, estão nas Figuras 105, 106 e 107.

Figura 105: Curvas do motor para o óleo diesel

Diesel S2000



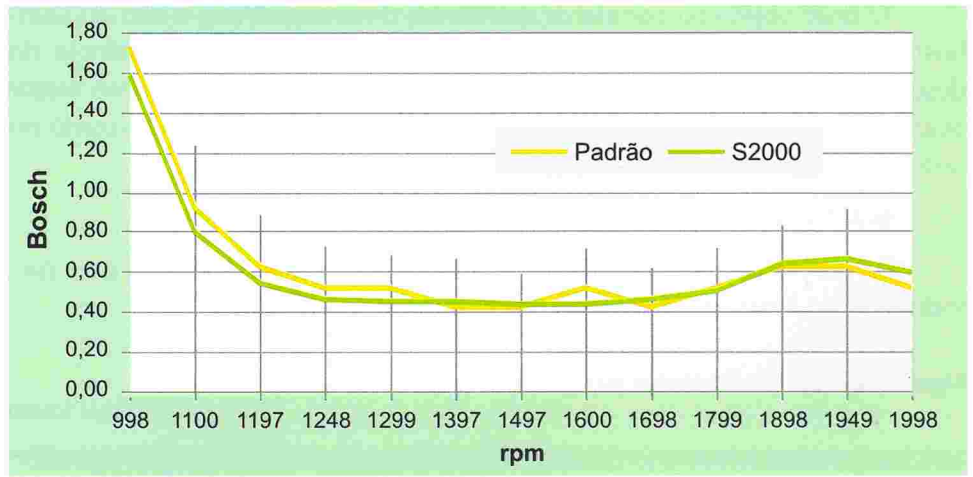
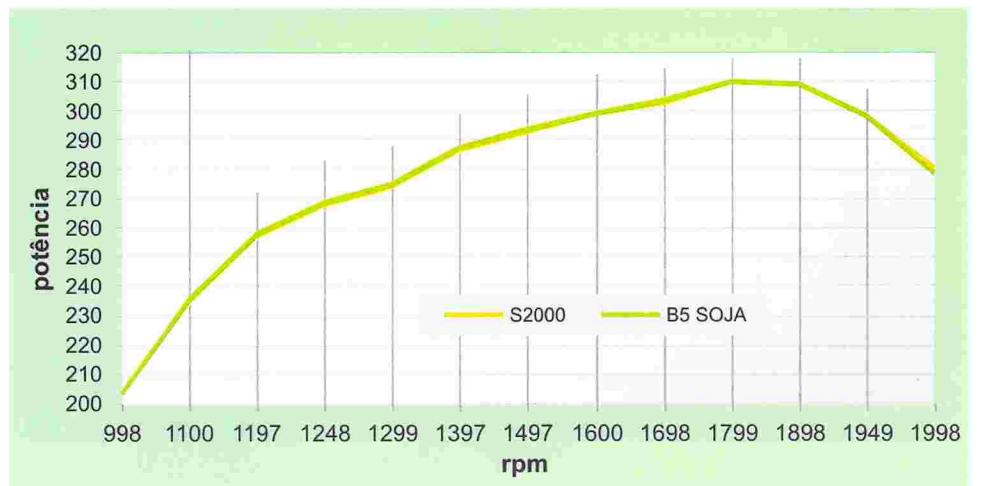
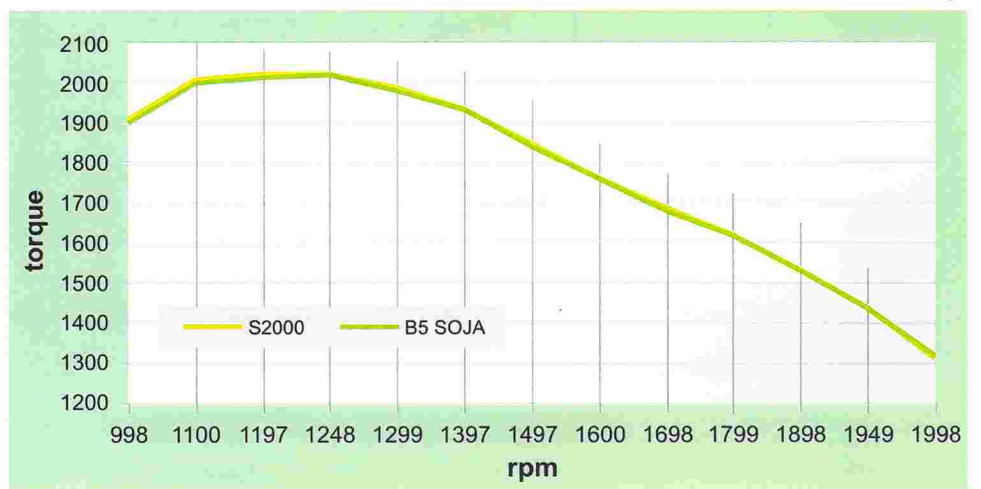


Figura 106: Curvas do motor para o B5 de soja

B5 de Soja



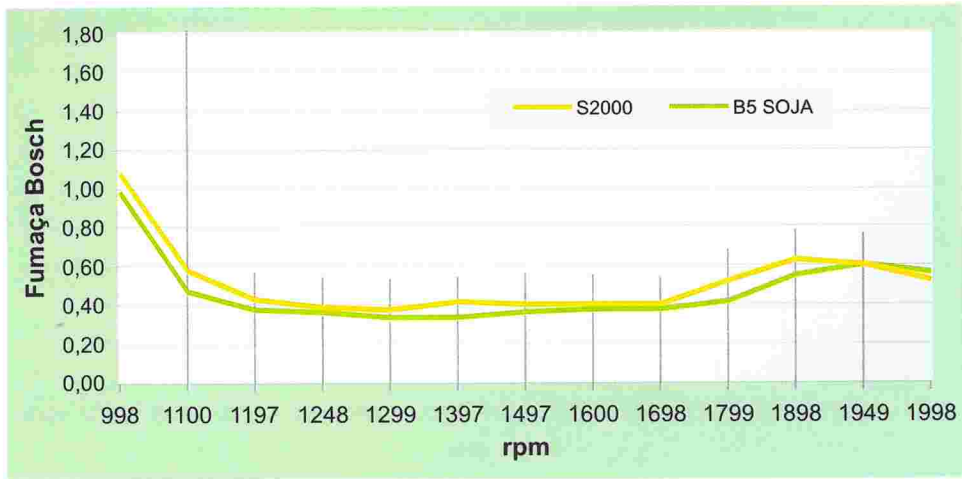
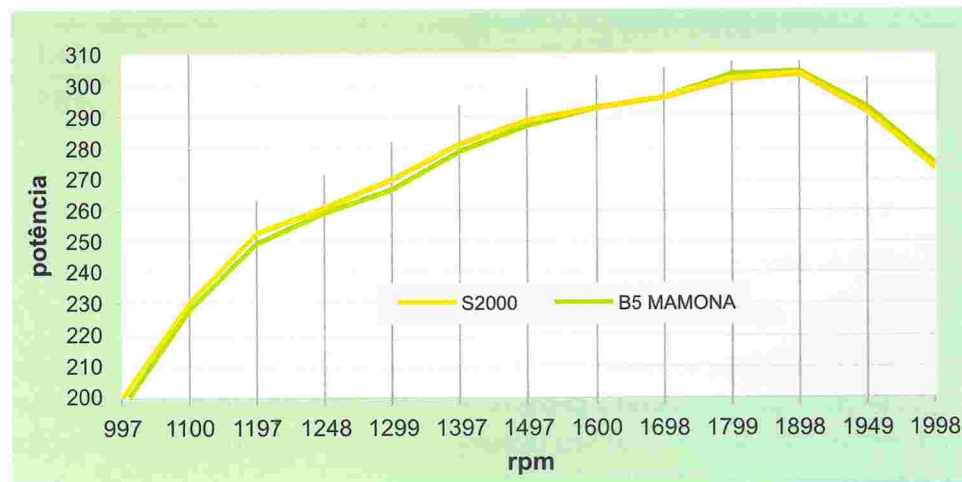
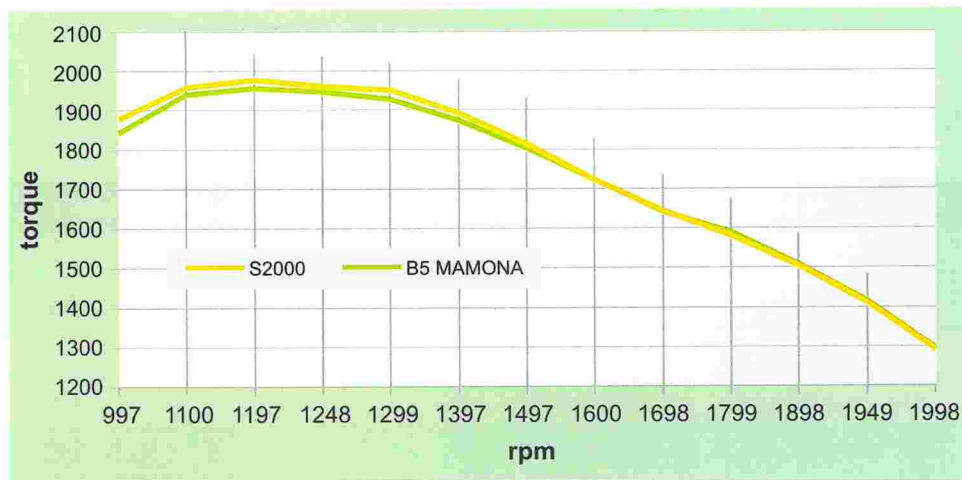
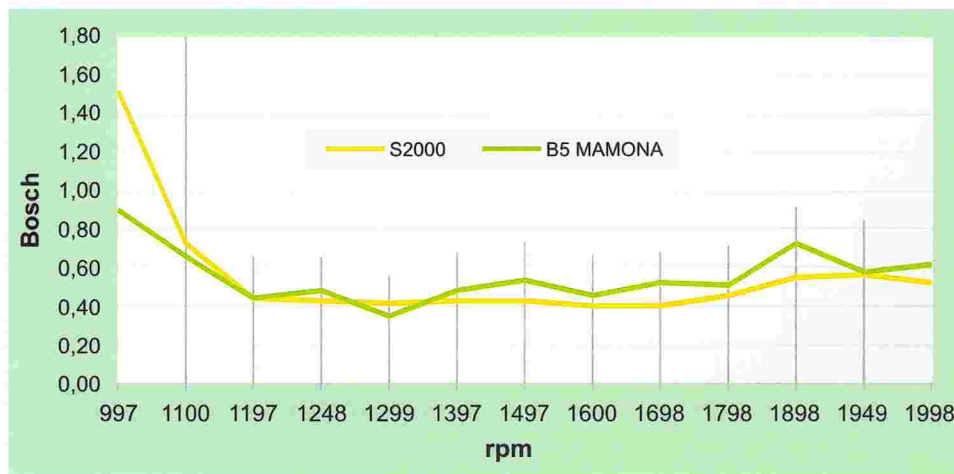


Figura 107: Curvas do motor para o B5 de mamona

B5 de Mamona





6.2.3.3. Emissões

Na Tabela 25 estão as medidas das emissões, fornecendo resultados percentuais em relação ao teste em bancada com Diesel S2000.

Tabela 25: Emissões das misturas B5 em relação ao diesel S2000

Parâmetro de emissão	Combustível	Diferença em relação ao óleo diesel (%)
HC	B5 Soja	0
	B5 Mamona	+ 17
CO	B5 Soja	0
	B5 Mamona	+ 13
NOx	B5 Soja	- 2,2
	B5 Mamona	- 2
MP	B5 Soja	+ 1,1
	B5 Mamona	+ 8,0

6.3. Centros de Pesquisa e Tecnologia

6.3.1. Mercedes-Benz – IPT – São Paulo

6.3.1.1. Apresentação

Para a realização deste teste foi firmado acordo específico de cooperação técnica que objetivou a pesquisa da influência do uso do biodiesel em motores, no que se refere ao seu desempenho e emissão de poluentes, com as seguintes empresas/instituições parceiras:

1. Instituto de Pesquisa Tecnológicas de São Paulo (IPT);
2. Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas da Universidade de São Paulo (Ladetel/USP);
3. Robert Bosch Ltda.;
4. Mercedes-Benz do Brasil; e
5. Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar).

As características do teste estão descritas na Tabela 26.

Tabela 26: Características do teste em dinamômetro na IPT

Laboratório	IPT – Dinamômetro de motor
Motor de teste	Motor OM904 LA 130kW e sistema de injeção UPS (Unit Pump System)
Objetivos do teste	Avaliar a influência de misturas de biodiesel de soja e mamona no desempenho e emissão de poluentes em relação ao óleo diesel
Tipo da composição	Motor para ônibus urbano
Fornecedora do B5	IPT
Fornecedora do B100	Ladetel

O projeto foi conduzido em parceria com a iniciativa privada e financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), administrado pelo Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar) e realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), cujo trabalho relaciona e analisa os resultados experimentais de desempenho e emissão de um motor diesel Mercedes-Benz OM 904 LA de injeção direta e turbo-alimentado, operando numa bancada dinamométrica.

Várias misturas biodieseis foram preparadas com ésteres metílico e etílico de óleos de soja e mamona com óleo diesel, e utilizadas na realização de ensaios comparativos de desempenho do motor supracitado operando em plena carga. Seguindo o ciclo Euro 3 de 13 modos, foram avaliadas também as mudanças nos seus resultados de emissões. Complementarmente, foram realizados ensaios para quantificação de diluição do óleo lubrificante do motor e do comportamento do motor funcionando em baixas cargas e rotações elevadas.

Entre as várias possibilidades cobertas pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, foram escolhidos, para a realização dos testes, os

monoésteres de óleo de mamona e de soja, levando em conta a estrutura molecular diferenciada do óleo de mamona e a grande produção agrícola de soja no país. Considerando-se a grande disponibilidade de etanol no Brasil para produzir ésteres etílicos e a experiência internacional do uso de ésteres metílicos, os testes foram realizados com dois tipos, objetivando detectar quaisquer diferenças no comportamento do motor.

O motor Mercedes-Benz OM 904 LA usado nos testes satisfaz os limites de emissões estabelecidos no Conama P5 (Euro 3) e é aplicado comumente em caminhões de entrega e ônibus urbanos, o que o torna adequado para avaliação do impacto do uso do biodiesel na emissão de poluentes.

O objetivo principal dos testes era comparar parâmetros de desempenho (potência e consumo específico de combustível) e emissões regulamentadas do motor mencionado, operando com diferentes porcentagens de ésteres metílico e etílico de soja e mamona em óleo diesel. Buscando identificar a porcentagem máxima de biodiesel que pode ser consumida pelo motor, alguns testes exploratórios específicos também foram realizados.

6.3.1.2. Procedimento Experimental

No procedimento experimental, o motor OM 904 LA é um motor diesel de quatro tempos, equipado com turbo-compressor e pós-arrefecedor, sistema eletrônico de injeção UPS (Unit Pump System) e câmara de combustão aberta. Suas principais características técnicas estão resumidas na Tabela 27.

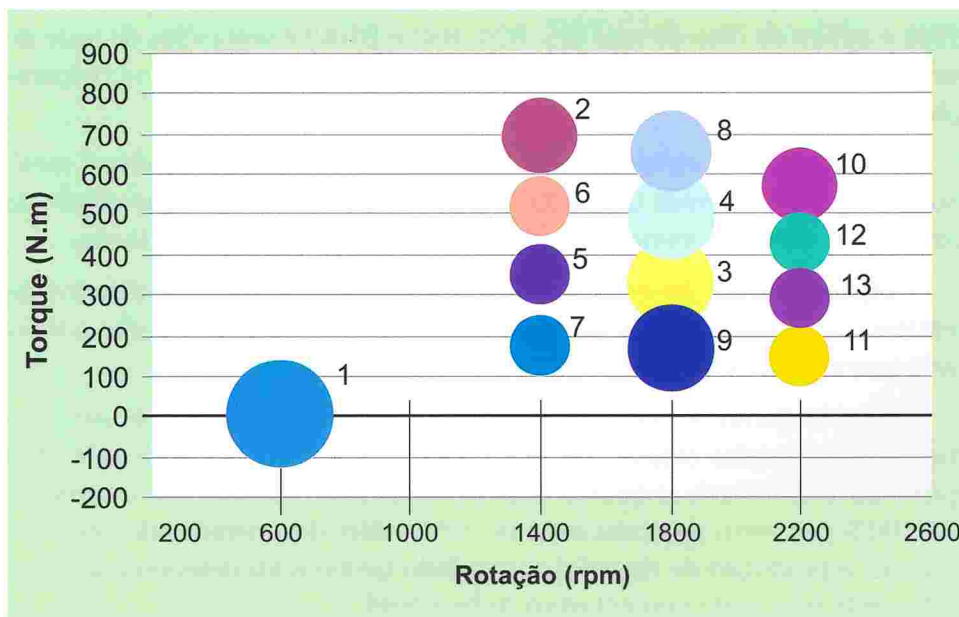
Tabela 27: Especificações do motor teste

Diâmetro/Curso	102 mm/130 mm
Número de cilindros	4
Cilindrada total	4.25 L
Potência máxima nominal	130 kW
Rotação máxima	2200 rpm
Momento de força máximo	675 Nm @1200-1600 rpm
Razão de compressão	18:1
Pressão de injeção máxima	2000 bar
Pressão máxima sobrealimentação.	1.72 bar (efetivos)

O motor foi instalado numa bancada dinamométrica AVL de resposta dinâmica rápida, modelo APA 304, plenamente controlada por software dedicado, acoplada a uma bancada de analisadores Horiba série 200, e a um mini-túnel de diluição AVL modelo Smart Sampler. Toda a instrumentação era calibrada diariamente antes do início dos testes. Os testes de emissões foram realizados de forma plenamente automatizada, de acordo com o ciclo ESC (European Steady State Cycle) de 13 modos Euro 3 (diretiva 88/77 EEC, emendada pela EC 27/2001).

A Figura 108 mostra os pontos ensaiados no motor OM 904 LA. Os números indicam a sequência do teste e suas áreas são proporcionais aos pesos usados na totalização das emissões do ciclo.

Figura 108: Teste de Ciclo de 13 modos – Euro 3



Os combustíveis testados foram os ésteres metílico e etílico de óleo de soja (EMOS e EOS, respectivamente) e de mamona (EMOM e EOM, respectivamente) em misturas com óleo diesel metropolitano (DM). As principais propriedades dos combustíveis são apresentadas na Tabela 28, a seguir.

Antes de iniciar os testes de emissão, o motor operou em plena potência com diferentes porcentagens de biodiesel, com o objetivo de verificar possíveis efeitos sobre o valor da pressão máxima de injeção. As misturas com biodiesel de mamona foram limitadas a B20 devido à elevada viscosidade e massa específica, que poderiam provocar aumentos significativos na pressão de injeção.

Tabela 28: Propriedades dos combustíveis

	MESO	EEOS	EMOM	EEOM	DM
Massa específica @ 20°C kg/m ³	881,1	877,2	920,6	919,8	848,
Ponto de fulgor – °C	164	161	116	128	45
Teor de enxofre-mg/kg	<10	<10			300
Teor de hidrogênio- massa	11,7	12,0	11,5	11,8	12,6
Poder calorífico inferior MJ/kg	37,3	37,6	35,2	35,6	42,4
Viscosidade cinemática @ 40°C mm ² /s	4,16	4,41	13,0	17,4	3,36
Cinzas sulfatadas massa	<0,01	<0,01	0,013	<0,01	
Número de acidez total gKOH/kg	0,17	0,26		0,48	
Número de cetano	52	54	44	45	45
Ponto de entupimento de filtro a frio – °C	-5	-8	-2	-5	
Estabilidade à oxidação horas			15,0	15,7	

Foram realizados trinta diferentes ciclos de teste usando biodiesel metílico e etílico de óleo de soja (B5, B20, B50 e B100) e seis ciclos de teste de referência operando com óleo diesel da mesma batelada usada na preparação das misturas.

Vinte e quatro ciclos de teste foram realizados usando biodiesel metílico e etílico de mamona (B2, B10 e B20) e oito ciclos de teste de referência com óleo diesel da mesma batelada usada na preparação das misturas.

Após os testes de emissão, dois testes especiais foram realizados na tentativa de identificar qualquer aspecto técnico do motor que pudesse limitar a quantidade de biodiesel utilizado nas misturas.

Um conjunto de testes foi realizado com o motor operando em condições consideradas críticas para a combustão completa do biodiesel (2200 rpm e 25% de carga), enquanto a porcentagem de biodiesel era variada de 0 a 100% por meio de acréscimos de 10%. Além das medidas de emissões gasosas, a produção de material particulado também foi determinada separadamente para cada porcentagem de biodiesel.

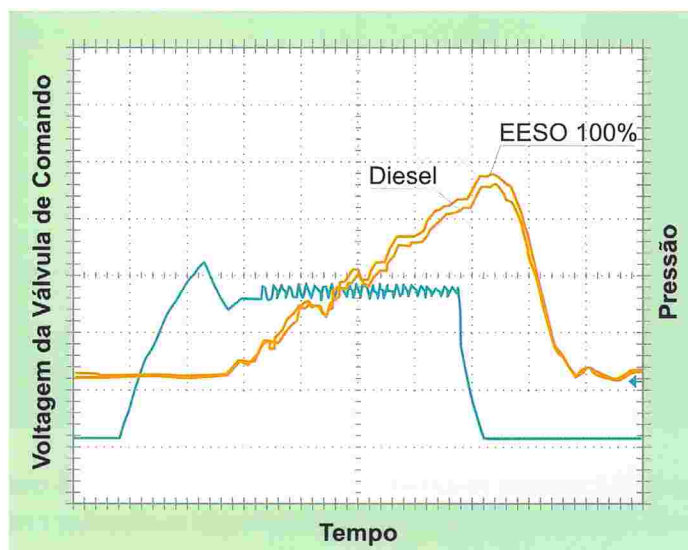
Outro teste especial foi realizado com o motor consumindo duas diferentes misturas de biodiesel, em condições de aceleração máxima livre (rotação máxima e carga zero) para avaliar a diluição do óleo lubrificante com biodiesel. As quantidades de biodiesel no lubrificante foram avaliadas por meio de espectroscopia de infravermelho.

6.3.1.3. Resultados obtidos e análises

As pressões de injeção foram medidas com o motor operando em plena potência com óleo diesel, B100 de EMOS, B100 de EEOS, B20 de EMOM e B20 de EEOM. Os resultados indicam um aumento na pressão máxima de injeção de 1.720 bar para 1.820 bar, valor ainda dentro dos limites admissíveis

para a versão do motor testado. A título de ilustração, a Figura 109 mostra a comparação entre as medidas de pressão de injeção e da tensão elétrica na válvula de comando em função do tempo, para óleo diesel e B100 de soja.

Figura 109: Efeito do Biodiesel na pressão de injeção



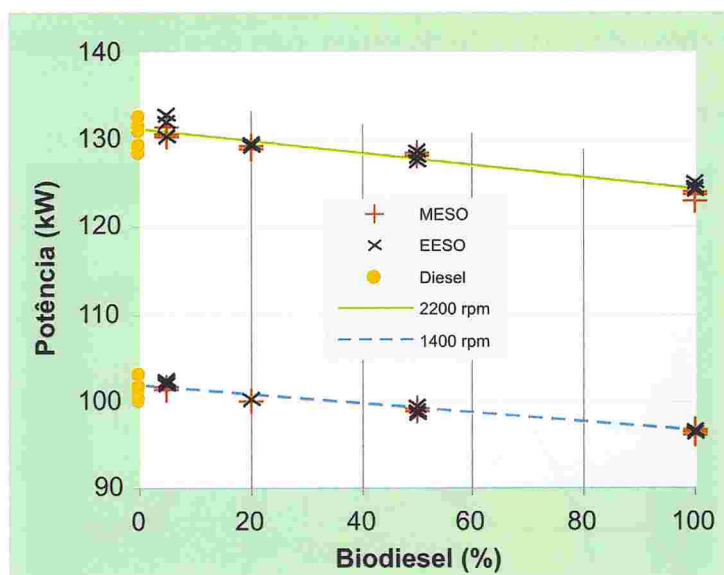
Como se pode observar, as curvas de evolução de pressões são muito similares, sendo que a única diferença observável é um ligeiro aumento nos valores da pressão com o uso do biodiesel.

Após a realização de vinte e quatro ciclos de teste com diferentes porcentagens de ésteres metílico e etílico de óleo de soja e seis ciclos de teste com o motor consumindo o óleo diesel de referência, tratou-se separadamente os dados obtidos com o uso de ésteres metílico e etílico. Nenhuma diferença com significância estatística foi observada entre os dois grupos. Portanto, todas as inferências estatísticas aqui apresentadas foram obtidas tratando os ésteres metílico e etílico como uma população única.

Comparando os resultados de potência efetiva do motor operando com diferentes porcentagens de biodiesel de soja, observa-se a variação de desempenho ressaltada na Figura 110.

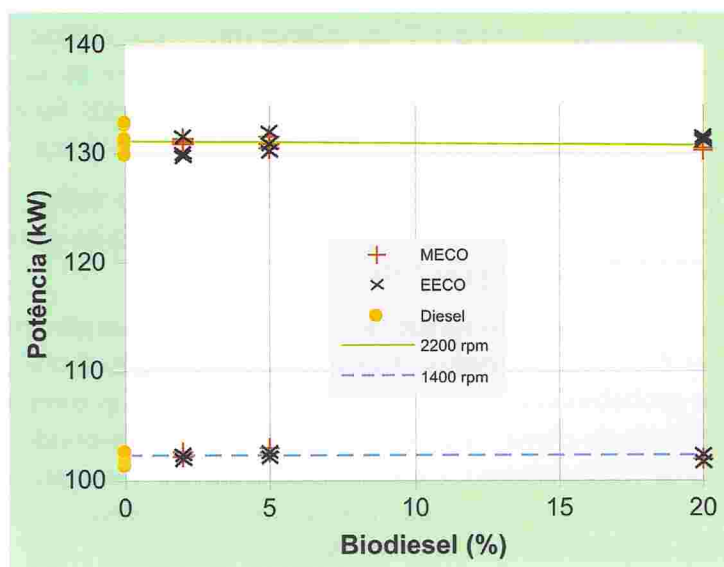
A potência máxima do motor @ 2.200 rpm foi reduzida em $5,2\% \pm 0,7\%$ ao usar B100. As incertezas são expressas pelo intervalo de confiança para 95% de probabilidade, assim como todas as demais apresentadas neste artigo. A potência de plena carga @ 1.400 rpm, que corresponde à rotação de momento de força máximo, experimentou a mesma redução porcentual observada @ 2.200 rpm. Porcentagens menores de biodiesel geram quedas proporcionais de potência e momentos de força máximos.

Figura 110: Efeitos do MESO e EEOS no desempenho



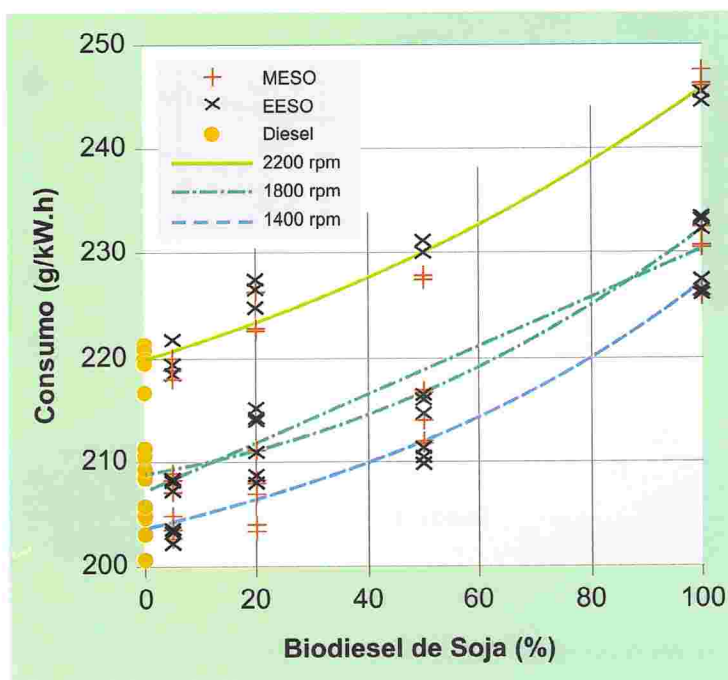
A Figura 111 mostra resultados análogos para biodiesel metílico e etílico de óleo de mamona, obtidos em dezoito testes realizados com biodiesel e oito testes de referência realizados com óleo diesel. Nesse caso, nenhuma redução com significância estatística de potência ou momento de força foi observada para aplicações até B20. Similarmente ao observado para biodiesel de soja, nenhuma diferença com significância estatística foi detectada entre ésteres metílico e etílico de mamona.

Figura 111: Efeitos do EMOM e EEOM no desempenho



A Figura 112 mostra a influência do uso de biodiesel de soja no consumo do motor em plena carga. Os resultados revelam uma diferença in-significante entre o uso de ésteres metílico e etílico; o aumento médio do valor do consumo específico do combustível foi de $0,113 \pm 0,011\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura. Considerando as diferenças de poderes caloríficos inferiores dos combustíveis, pode-se calcular um aumento relativo de quase 3% na eficiência global com o uso do biodiesel. Levando-se em conta a maior densidade do biodiesel, o aumento no consumo volumétrico do combustível deveria ser de aproximadamente 0,07% para cada 1% de biodiesel na mistura. Por outro lado, comparando-se estatisticamente modelos de regressão linear e parabólica para ajuste dos dados, pode-se concluir que, mesmo para 99% de nível de significância, a variação é parabólica e não linear. Embora não esperado, o fato de o motor consumir B100 mais eficientemente que o óleo diesel parece indicar a existência de uma particular mistura que pode otimizar energeticamente o uso de biodiesel nesse motor.

Figura 112: Consumo à plena carga (ESO)

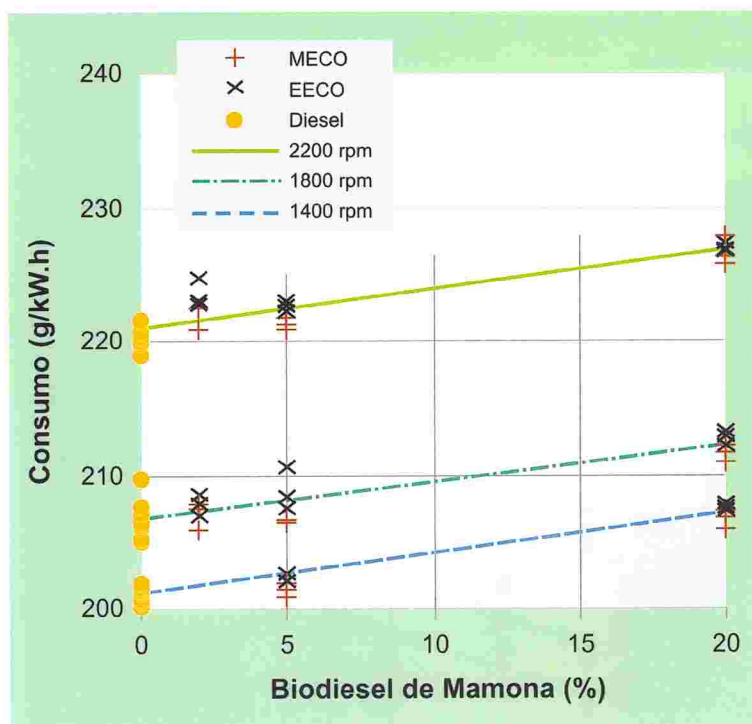


A Figura 113 mostra a variação do consumo específico do motor funcionando a plena carga, quando diferentes misturas de biodiesel de mamona eram usadas. O aumento médio de consumo específico determi-

nado experimentalmente foi de $0,147 \pm 0,025\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura. Levando-se em conta o poder calorífico dos combustíveis, pode-se calcular um aumento relativo de eficiência global de aproximadamente 5%. O aumento do consumo de combustível em volume deveria ser de aproximadamente 0,06% para cada 1% de biodiesel de mamona na mistura.

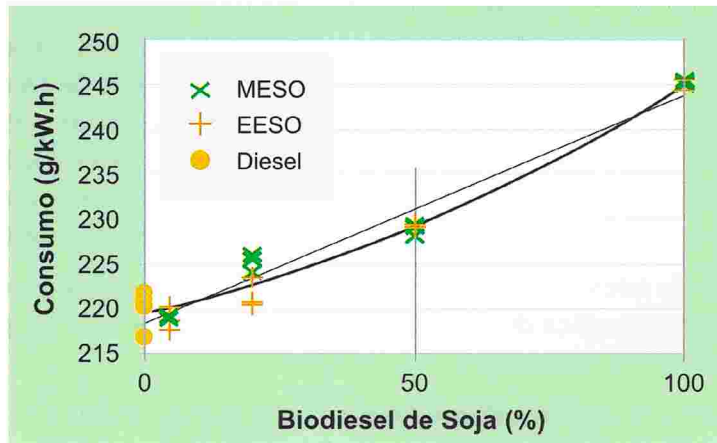
Na Figura 113, além dos dados experimentais, são apresentadas as curvas obtidas de regressões linear e parabólica aplicadas a estes dados. Confirmando as observações prévias do comportamento do motor operando em plena carga, o ajuste parabólico é mais significativo estatisticamente; nesse caso com nível de significância menor que 0,1%.

Figura 113: Consumo à plena carga (ECO)



Para se ter uma visão mais completa da influência do uso do biodiesel no consumo de combustível, os dados experimentais obtidos durante o ciclo de 13 modos foram processados com o objetivo de calcular o consumo específico do ciclo, usando os mesmos pesos e procedimentos aplicados nos cálculos das emissões. As Figuras 114 e 115 mostram os resultados obtidos para as misturas preparadas com biodiesel de óleo de soja e de mamona, respectivamente.

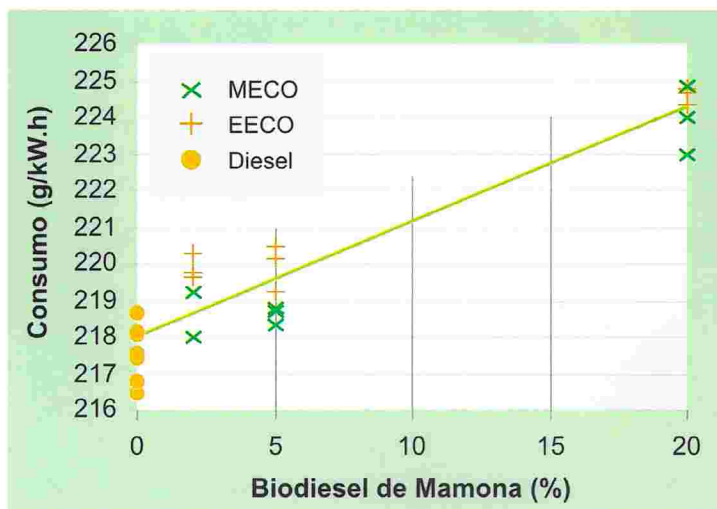
Figura 114: Consumo Específico Médio (ESO)



O aumento médio no consumo específico de combustível foi de $0,116 \pm 0,009\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura, o que significa acréscimo relativo de eficiência global do motor de quase 3% com o uso do biodiesel.

Para melhor investigar o comportamento não linear do consumo de combustível com a porcentagem de biodiesel, fez-se, separadamente, uma comparação para cada ponto do ciclo. Os resultados mostram que o efeito não linear era mais bem definido para condições de baixas cargas do ciclo, o que fez crescer as suspeitas de combustão deficiente do biodiesel em condições de baixa carga.

Figura 115: Consumo Específico Médio (ECO)



O aumento médio no consumo específico de combustível, quando se usou biodiesel preparado com óleo de mamona, era $0,144 \pm 0,020\%$ para cada

1% de biodiesel na mistura, o que significa aproximadamente um ganho relativo de 5% na conversão da energia do biodiesel comparada com a do óleo diesel.

As Figuras 116 e 117 mostram os resultados das emissões nos ciclos de 13 modos obtidas com o uso de ésteres etílicos e metílicos de óleo de soja. Além dos dados experimentais, as curvas, de tendência linear, são também mostradas. Embora haja diferenças na inclinação das curvas ajustadas entre os resultados de EMOS e EEOS, elas não são estatisticamente significativas, o que nos levou a tratar ambos os conjuntos de dados como uma população única.

O uso de ésteres metílico ou etílico de óleo de soja causou um aumento na emissão específica de NO_x para o ciclo de $0,186 \pm 0,022\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura.

A mesma quantidade de biodiesel reduziu as emissões de CO em $0,277 \pm 0,041\%$, HC em $0,49 \pm 0,05\%$ e material particulado em $0,25 \pm 0,13\%$.

Na Figura 118 vemos as emissões específicas do ciclo de 13 modos para operação do motor com diferentes proporções de ésteres metílicos e etílicos de mamona no óleo diesel. As regressões lineares mostradas indicam um aumento de $0,209 \pm 0,037\%$ de NO_x e redução de $0,40 \pm 0,08\%$ de CO para cada 1% de biodiesel na mistura. Não se observou variação estatisticamente significativa nas emissões de HC e de material particulado.

Figura 116: Ciclo de emissões biodiesel metílico de soja

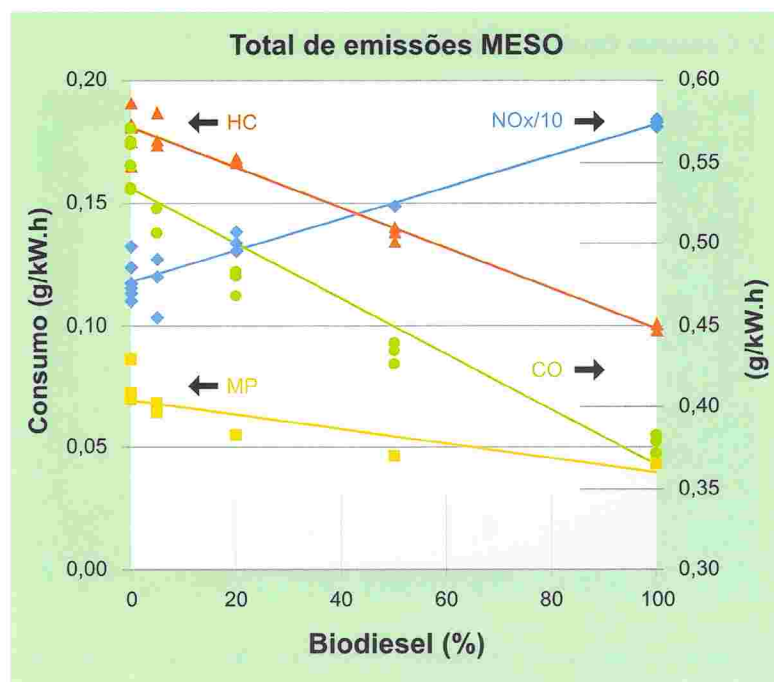


Figura 117: Ciclo de emissões biodiesel etílico de soja

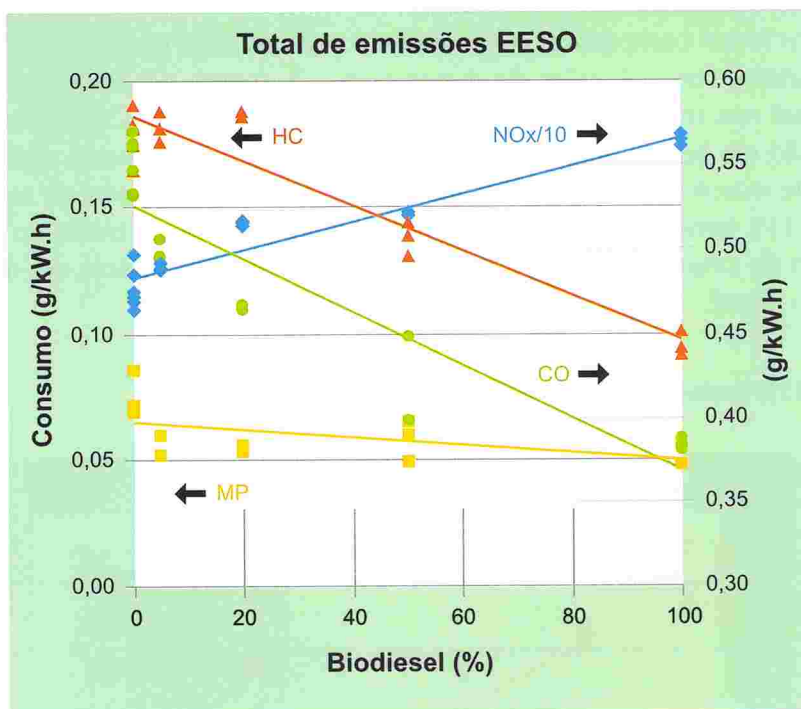
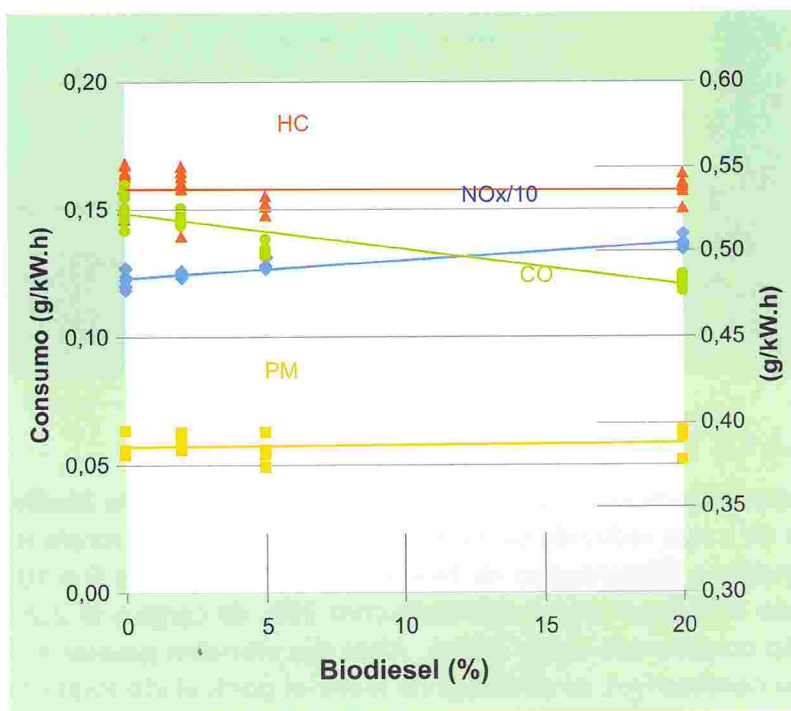
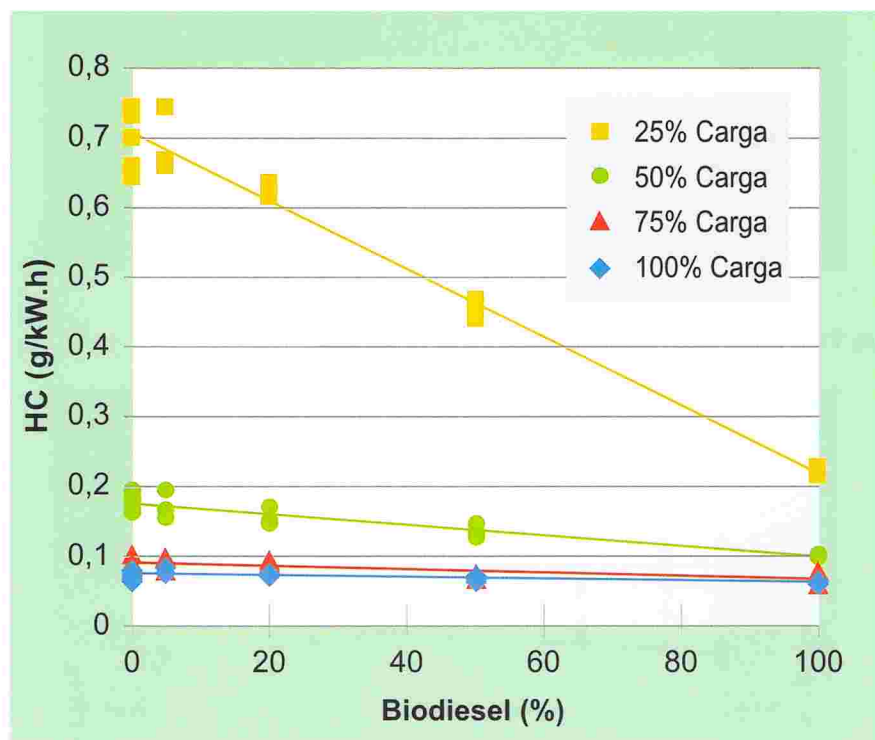


Figura 118: Ciclo de emissões biodiesel de mamona



Embora as emissões do ciclo mostrem uma variação estatisticamente linear com a porcentagem de biodiesel nas misturas, os valores das emissões medidas foram comparadas ponto a ponto para verificar quaisquer possíveis comportamentos anômalos do motor com o aumento da porcentagem de biodiesel nas misturas. Estas comparações mostraram que, nos modos de operação em baixas cargas do ciclo, as variações de HC foram significativamente maiores que nos outros modos ao se utilizar biodiesel de soja. Na Figura 119 temos um exemplo desta variação, que foi atribuída ao maior número de cetano dos ésteres metílico e etílico de óleo de soja em relação ao óleo diesel.

Figura 119: Emissões de HC a 1800 rpm (MESO)



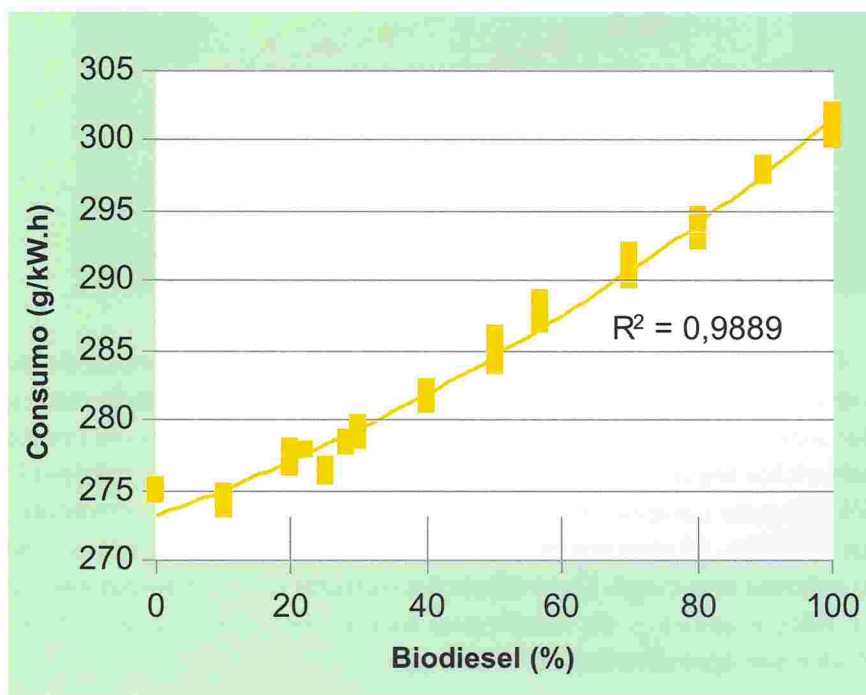
6.3.1.4. Testes complementares

Para esclarecer as suspeitas de queima deficiente de biodiesel em regimes de carga reduzida do motor, dois testes especiais foram rodados. No primeiro, a porcentagem de biodiesel (EEOS) variou de 0 a 100% em passos de 10%, com motor operando com 25% de carga e @ 2.200 rpm, condição considerada como crítica. Além das emissões gasosas e do consumo de combustível, as emissões de material particulado foram medidas

a cada passo. O ensaio foi feito com carga e rotação fixa, igualmente para todas as misturas.

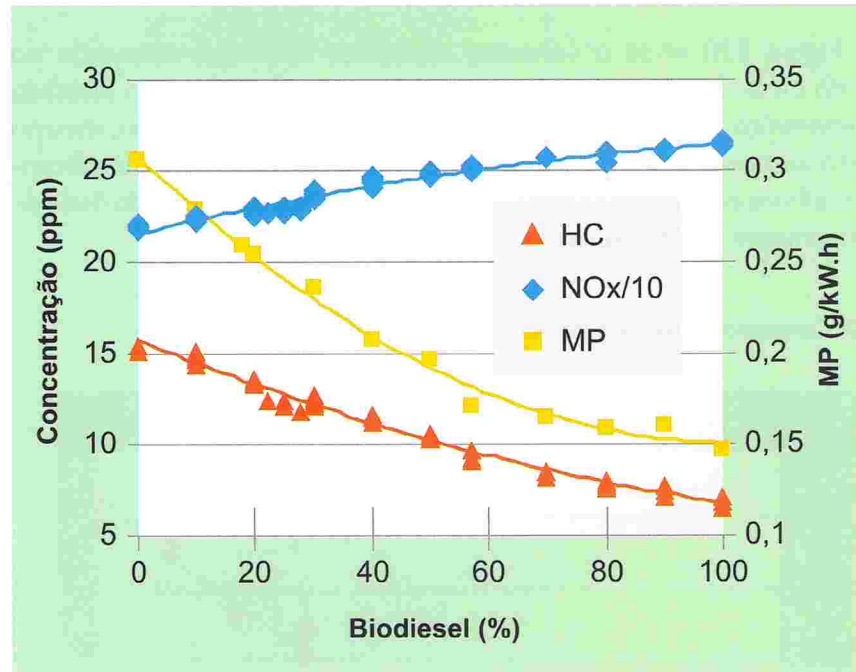
Na Figura 120 vê-se o consumo específico do motor operando no modo 11 do ciclo de 13 modos. Destaque-se que, embora a curva ajustada estatisticamente confirme o comportamento não-linear do consumo, mesmo com B100 o aumento de consumo específico foi de apenas 10,4%, implicando numa melhora de eficiência global do motor de 3% com o uso do éster de soja, relativamente ao óleo diesel.

Figura 120: Consumo específico de combustível no modo 11



A Figura 121 mostra as variações nas emissões causadas pelo aumento da proporção de biodiesel no mesmo modo 11 do ciclo de 13 modos. Observa-se a variação não-linear de todos os poluentes, tendendo à saturação para maiores quantidades de biodiesel nas misturas. Este comportamento, junto com o observado no consumo, indica que o motor está próximo do seu limite de combustão com o B100. A saturação da redução de MP sugere éster não queimado sendo adsorvido pela fuligem, apesar da eficiência global ainda ser maior que no caso de diesel puro. O maior número de cetano do biodiesel de soja, comparado com o do óleo diesel, também parece relevante na explicação do fenômeno.

Figura 121: Emissões em condição de baixa carga



O segundo teste especial, realizado para verificar os limites do motor com respeito à queima de biodiesel, foi um teste de durabilidade curta para avaliar a diluição do óleo lubrificante. O teste em plena carga era composto por três ciclos seguidos por um período de funcionamento em máxima livre. O ciclo de teste compõe-se de 60 minutos a plena potência, 30 minutos no torque máximo, 30 minutos de plena carga a 1000 rpm, e 30 minutos de rotação máxima sem carga. Duas diferentes misturas de EEOS foram ensaiadas, B50 e B80, e amostras do lubrificante foram coletadas a cada 7h30m. Os resultados são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29: Diluição do lubrificante

Mistura	Tempo total (h)	Ciclo	Diluição (%)	
			Biodiesel	Diesel
B50	7:30	Mannheim	0,19	0,11
	15:00	máxima livre	0,36	0,12
B80	7:30	Mannheim	0,20	0,50
	15:00	máxima livre	0,57	0,30
	22:30	máxima livre	0,84	0,30

Os resultados mostram que a diluição do óleo lubrificante por biodiesel aumenta aproximadamente na mesma proporção do biodiesel misturado ao óleo diesel, sugerindo que nenhuma deterioração adicional na combustão ocorreu com o aumento das quantidades de biodiesel. Entretanto, considerando a diluição máxima tolerável, estes resultados dão uma indicação preliminar de que intervalos menores para troca de óleo, relativamente aos praticados quando se utiliza óleo diesel, devem ser praticados quando o motor opera com biodiesel.

6.3.1.5. Parecer

Os testes de desempenho e de emissões de um motor Mercedes-Benz OM 904 LA, funcionando com diferentes porcentagens de ésteres metílicos e etílicos de soja e de mamona, geraram resultados que não mostram diferenças estatisticamente significativas entre os dois tipos de éster.

Os resultados com misturas até B100 de biodiesel de soja em diesel mostraram um aumento médio do consumo específico de $0,116 \pm 0,009\%$ (intervalo de confiança de 95%) para cada 1% de biodiesel na mistura. Os resultados com biodiesel de mamona (até B20) indicaram um aumento médio de $0,144 \pm 0,020\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura. Considerando o poder calorífico dos combustíveis, em ambos os casos houve aumento da eficiência de conversão de energia química em mecânica de aproximadamente 3% para biodiesel de soja e de aproximadamente 5% para biodiesel de mamona relativamente à fração de diesel substituída.

Os testes de emissões de 13 modos com misturas de biodiesel de soja mostraram um aumento da emissão específica de NOx de $0,186 \pm 0,022\%$ para cada 1% de biodiesel. Para o mesmo aumento de biodiesel, as emissões foram reduzidas em $0,277 \pm 0,041\%$ em CO, $0,49 \pm 0,05\%$ em HC e $0,25 \pm 0,13\%$ em material particulado. Com biodiesel de mamona os resultados foram aumento de $0,209 \pm 0,037\%$ em NOx e redução de $0,40 \pm 0,08\%$ em CO para cada 1% de biodiesel na mistura, sem variações significativas em HC ou material particulado, usando-se até B20.

Nenhum dos testes com motor Mercedes-Benz OM 904 LA operando com até B100 de soja ou B20 de mamona – especialmente os testes realizados com altas rotações e baixas cargas – indicou qualquer problema em potencial para o motor.

6.3.2. MWM – Lactec – Paraná

6.3.2.1. Apresentação

Para a realização deste teste foi firmado um acordo específico de cooperação técnica que objetivou a pesquisa da influência do uso do biodiesel em motores no que se refere ao seu desempenho e emissão de poluentes, com as seguintes empresas/instituições parceiras:

1. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec);
2. Robert Bosch Ltda.;
3. Brasil Ecodiesel Indústria e Comércio de Óleos Vegetais e Biocombustíveis S.A.;
4. Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar); e
5. MWM-International Indústria de Motores da América do Sul Ltda.

As características do teste estão descritas na Tabela 30.

Tabela 30: Características do teste em dinamômetro no Lactec

Laboratório	Lactec – Dinamômetro de motor
Motor de teste	Motor MWM modelo 4.07 TCE com sistema de injeção "Common Rail"
Objetivos do teste	Avaliar a influência de misturas de biodiesel de soja e mamona no desempenho e emissão de poluentes em relação ao óleo diesel
Tipo da composição	Motor para aplicação leve
Fornecedora do B5	Lactec
Fornecedora do B100	Brasil Ecodiesel e Ladetel

Projeto conduzido em parceria com a iniciativa privada e financiada pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), administrado pelo Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar) e realizado pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec), cujo trabalho relaciona e analisa os resultados experimentais de desempenho e emissão de um motor diesel MWM modelo 4.07 TCE de injeção direta e turboalimentado, operando numa bancada dinamométrica.

Várias misturas combustíveis, preparadas com ésteres metílico e etílico de óleos de soja e mamona com óleo diesel, foram utilizadas na realização de ensaios comparativos de desempenho do motor supracitado operando em plena carga. Seguindo o ciclo Euro 3 de 13 modos, foram avaliadas também as mudanças nos seus resultados de emissões.

Complementarmente, foram realizados ensaios para quantificação de diluição do óleo lubrificante do motor e do comportamento do motor funcionando em baixas cargas e rotações elevadas.

6.3.2.2. Procedimento Experimental

O motor MWM 4.07 TCE é diesel de quatro tempos turbo superalimentado, com intercooler e câmara de combustão aberta. O sistema de

injeção é eletrônico e do tipo Common Rail, cujas características técnicas estão na Tabela 31.

Tabela 31: Especificações do motor MWM

Configurações	4 cilindros, em linha
Válvulas/Cilindro	3
Cilindrada	2,8 L
Diâmetro x Curso	93 x 103 mm
Sistema de Combustão	Injeção direta
Sistema de Injeção	Common Rail
Aspiração	Turbo Intercooler
Rotação de Potência Máxima	115 – 160 cv (85,8 – 119,3 kW) @ 3500 rpm
Torque	30,6 – 36,7 kgf.m (300 – 360 Nm) @ 1800 – 2400 rpm
Pressão de Injeção	1.350 bar

O motor foi instalado em um dinamômetro Schenck W 400, eletronicamente controlado, ligado ao analisador de emissões Horiba serie 7100D e ao túnel de diluição AVL Smart Sampler. Toda a instrumentação foi calibrada em cada dia de testes. Os testes de emissões foram totalmente automatizados de acordo com o ciclo europeu de estado estacionário de 13 modos, conforme NBR15634/2008, segundo o ciclo ESC.

Os combustíveis testados foram éster etílico e éster metílico de soja, abreviando EESO e MESO, respectivamente e éster etílico e éster metílico de mamona, abreviando EEMO e MEMO.

Antes de iniciar os testes de emissões, o motor foi operado em potência máxima com diferentes percentuais de biodiesel para verificar os possíveis efeitos na funcionalidade do sistema de injeção. As misturas com biodiesel de mamona foram limitadas a B5, poucos ensaios foram efetuados com B20, devido ao pequeno volume de combustível disponível para os testes.

Na Tabela 32 estão as especificações dos combustíveis utilizados nos testes.

Tabela 32: Dados dos combustíveis

	Diesel	EESO	MESO	EEMO	MEMO
Massa Específica a 20°C; kg/m ³	837	877,7	882,2	914	920,7
Teor de Enxofre; mg/kg	525	0,006	0,0069	0,008	
Ponto de Fulgor TAG; °C	41,5	177	194	138	126,5
Ponto de Entupimento de Filtro a Frio; °C	-14	8	-8	-6	-
Estabilidade à Oxidação a 110°C; h		0,6	6,5	8,7	1,9
Viscosidade Cinemática; mm ² /s (cSt)	2,647	4,656	4,001	12,78	9,51
Teor de Cinzas; massa	0,002	0,004	0,005	0,004	0,001
Micro Resíduo de Carbono; massa	0	0,04	0,03	0,024	0,03
Índice de Acidez; mgKOH/g	0,07	0,41	0,11	1,08	1,267
Corrosividade ao Cobre; 3h a 50°C	1 a	1 a	1 b	1 b	1b

Foram realizados trinta diferentes ciclos de teste usando biodiesel metílico e etílico de óleo de soja (B5, B20, B50 e B100) e doze ciclos de teste de referência operando com óleo diesel da mesma batelada usada na preparação das misturas.

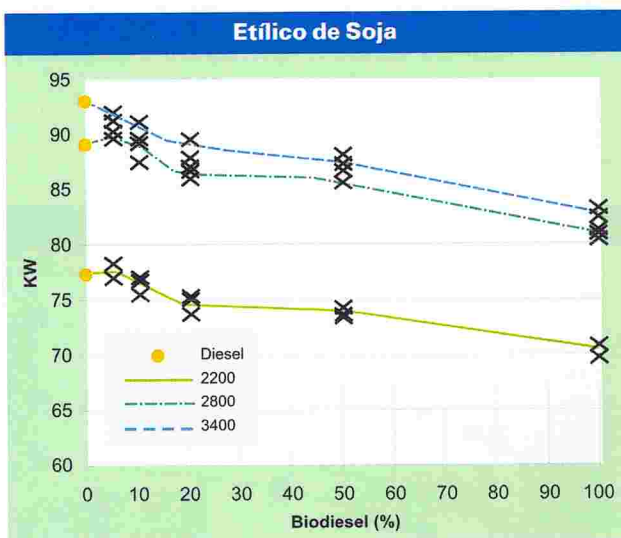
Doze ciclos de teste foram realizados usando biodiesel metílico e etílico de mamona (B2, B5 e B20) e quatro ciclos de teste de referência com óleo diesel da mesma batelada usada na preparação das misturas.

6.3.2.3. Características de Desempenho

Após a realização de vinte e quatro ciclos de teste com diferentes porcentagens de ésteres metílico e etílico de óleo de soja e seis ciclos de teste com o motor consumindo o óleo diesel metropolitano como referência, tratou-se separadamente os dados obtidos com o uso de ésteres metílico e etílico. Cada tipo de combustível foi tratado como uma população para cálculos estatísticos.

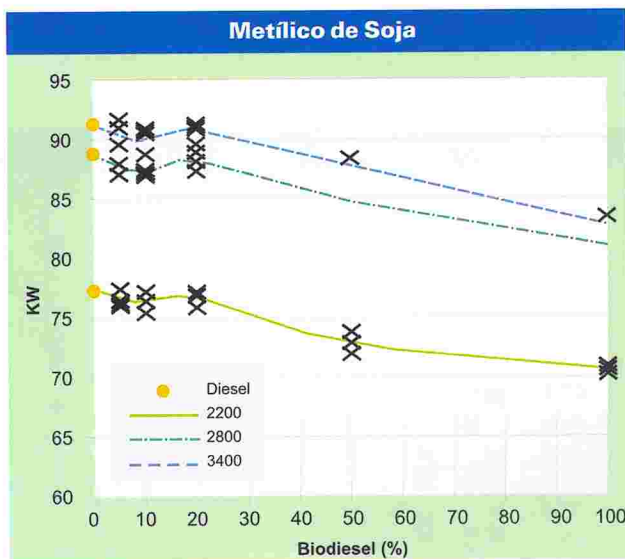
A Figura 122 mostra a variação da potência com o combustível etílico de soja. A potência máxima do motor @ 3.400 rpm reduziu-se em $10,4 \pm 1,1\%$ ao usar B100. As incertezas são expressas pelo intervalo de confiança para 95% de probabilidade, assim como todas as demais apresentadas neste artigo. A potência de plena carga @ 2.200 rpm, que corresponde à rotação de momento de força máximo, teve uma redução, de $8,8 \pm 1,0\%$ e @ 2.800 rpm a redução foi de $9,4 \pm 1\%$. Porcentagens menores de biodiesel geram quedas proporcionais tanto na potência como no momento de torção máximos.

Figura 122: Potência EESO



A Figura 123 mostra a variação da potência com o combustível metílico de soja. A potência máxima do motor @ 3.400 rpm reduziu-se em $9,2 \pm 1\%$ ao usar B100. A potência de plena carga @ 2.200 rpm teve uma redução, de $8,9 \pm 1\%$ e @ 2.800 rpm a redução foi de $8,5 \pm 1\%$. Porcentagens menores de biodiesel geram quedas proporcionais tanto na potência como no momento de torção máximos.

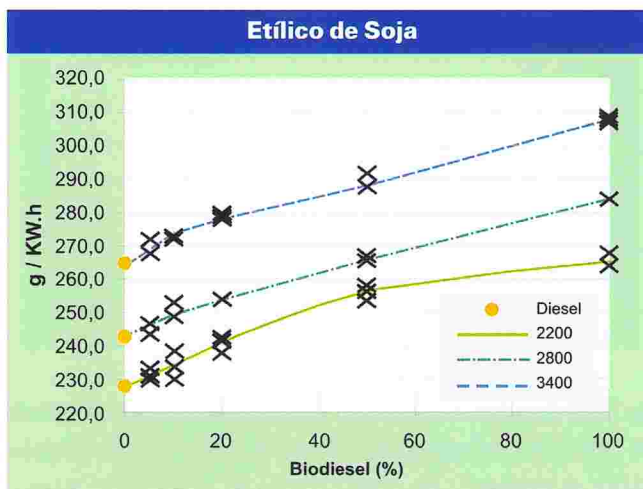
Figura 123: Potência MESO



A Figura 124 mostra a influência do uso de biodiesel etílico de soja no consumo do motor em plena carga. O aumento médio do valor do consumo

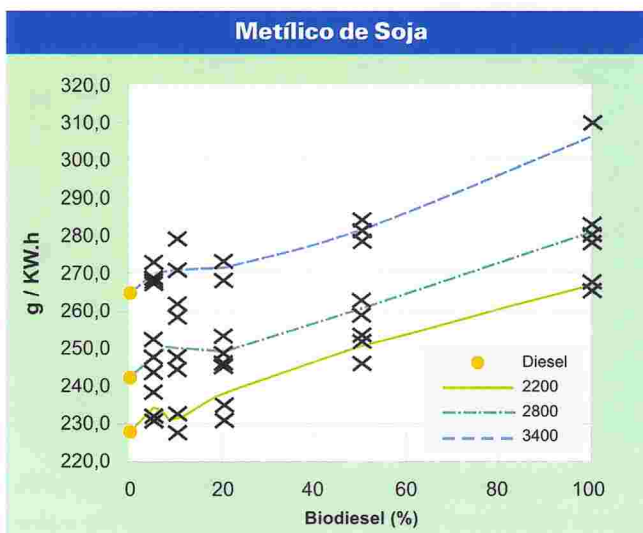
específico do combustível @ 3.400 rpm foi de $0,153 \pm 0,010\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura. O aumento médio do consumo específico do combustível @ 2.800 rpm foi de $0,165 \pm 0,006\%$ e @ 2.200 foi de $0,163 \pm 0,021\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura.

Figura 124: Consumo EESO



A Figura 125 mostra a influência do uso de biodiesel metílico de soja no consumo do motor em plena carga. O aumento médio do valor do consumo específico do combustível @ 3.400 rpm foi de $0,146 \pm 0,012\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura. O aumento médio do consumo específico do combustível @ 2.800 rpm foi de $0,146 \pm 0,011\%$ e @ 2.200 foi de $0,167 \pm 0,011\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura.

Figura 125: Consumo MESO

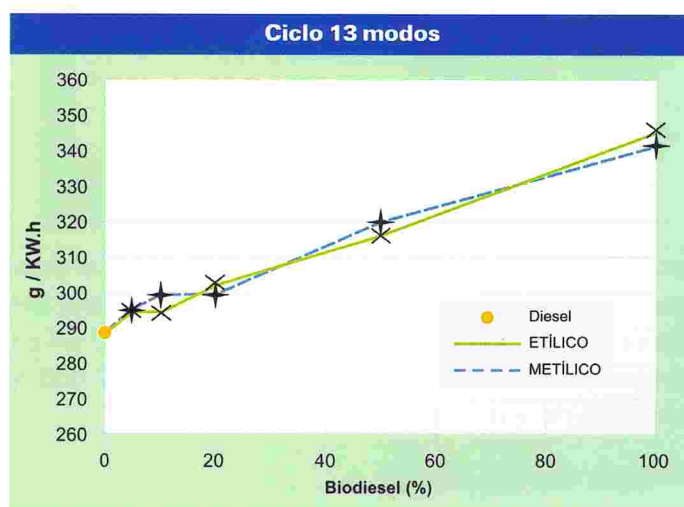


Para se ter uma visão mais completa da influência do uso do biodiesel no consumo de combustível, os dados experimentais obtidos durante o ciclo de 13 modos foram processados com o objetivo de calcular o consumo específico do ciclo usando os mesmos pesos e procedimentos aplicados nos cálculos das emissões. A Figura 126 mostra a variação do consumo específico médio no ciclo de 13 modos com biodiesel etílico e metílico de soja.

O aumento médio no consumo específico de combustível etílico de soja foi de $0,186 \pm 0,015\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura.

O aumento médio no consumo específico de combustível metílico de soja foi de $0,171 \pm 0,017\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura

Figura 126: Consumo médio EESO e MESO – 13 modos



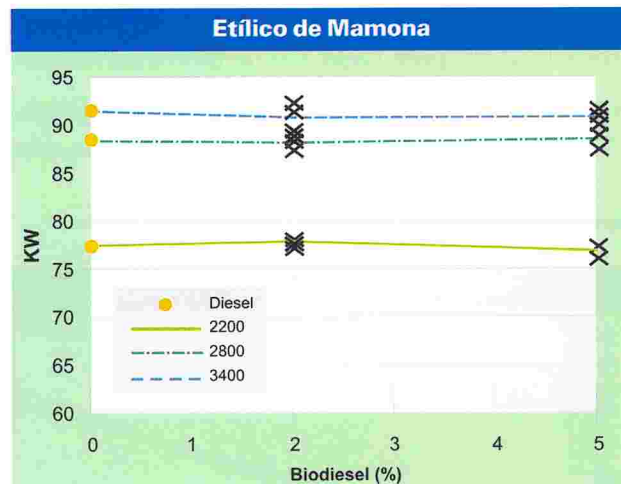
Os testes com biodiesel etílico e metílico de soja foram extensivos, pois os combustíveis foram fornecidos pela Ecomat e Brasil Ecodiesel em volumes e com qualidade para a execução dos vários ensaios, garantindo repetibilidade e reprodutibilidade dos dados experimentais.

Os testes com biodiesel etílico e metílico de mamona realizaram-se em menor número em função do pequeno lote adquirido pelo Tecpar junto ao Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (Ladétel) da Universidade de São Paulo – Ribeirão Preto. A dificuldade de obter-se biodiesel de mamona em maiores volumes (plantas industriais) limitou a obtenção dos resultados experimentais com misturas até B5.

A Brasil Ecodiesel foi a única empresa que se dispôs a fornecer biodiesel metílico de mamona, não se comprometendo a produzir o etílico correspondente.

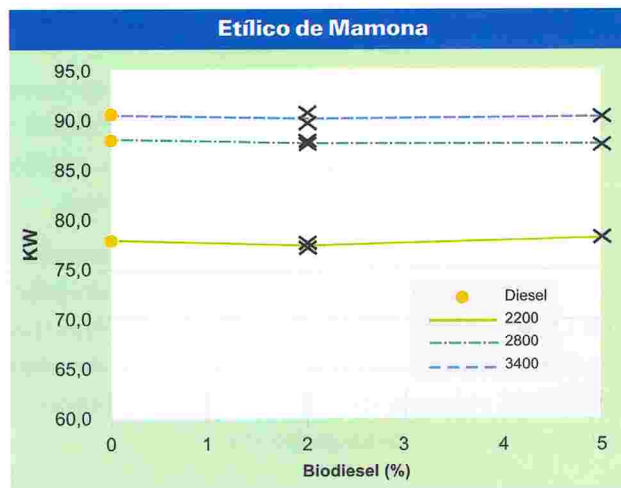
A Figura 127 mostra a variação da potência com o combustível etílico de mamona. A potência máxima do motor não teve alterações significativas até a mistura B5, sendo que @ 3.400 rpm reduziu-se em $0,89 \pm 0,48\%$, @ 2.200 rpm uma redução de $0,02 \pm 0,37\%$ e @ 2.800 rpm a redução foi de $0,6 \pm 0,49\%$.

Figura 127: Potência máxima – EEMO



A Figura 128 mostra a variação da potência com o combustível metílico de mamona. A potência máxima do motor não teve alterações significativas até a mistura B5. A potência @ 3.400 rpm aumentou $0,04 \pm 0,39\%$ para B5, @ 2.200 rpm uma redução de $0,37\% \pm 0,48\%$ e @ 2.800 rpm ocorreu um aumento de $0,53\% \pm 0,28\%$.

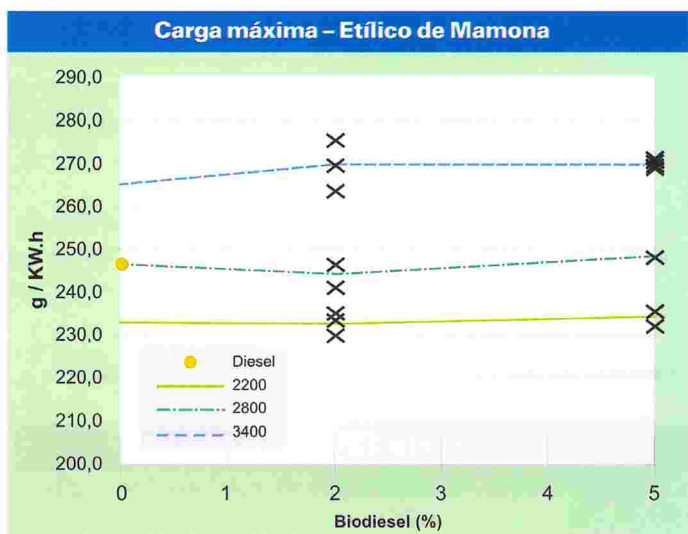
Figura 128: Potência máxima – MEMO



A Figura 129 mostra a influência do uso de biodiesel etílico de mamona no consumo do motor em plena carga. O aumento médio do valor

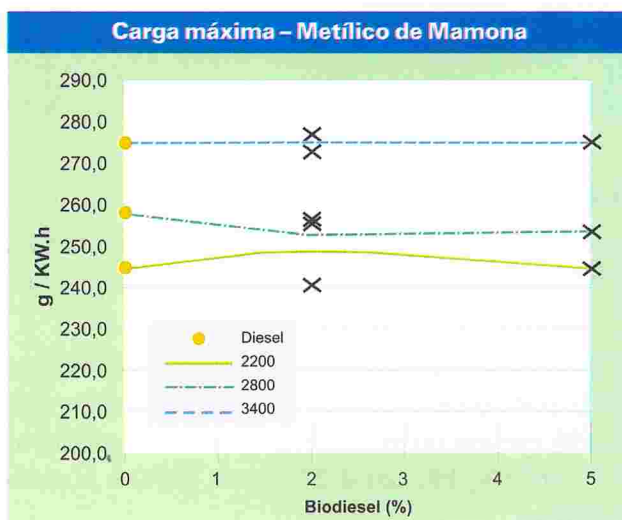
do consumo específico do combustível @ 3.400 rpm foi de $0,354 \pm 0,009\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura. O aumento médio do consumo específico do combustível @ 2.800 rpm foi de $0,147 \pm 0,006\%$ e @ 2.200 rpm foi de $0,100 \pm 0,05\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura até B5.

Figura 129: Consumo EEMO



A Figura 130 mostra a influência do uso de biodiesel metílico de mamona no consumo do motor em plena carga. O aumento médio do valor do consumo específico do combustível @ 3.400 rpm foi de $0,016 \pm 0,08\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura. Ocorreu uma redução do consumo de combustível médio específico @ 2.800 rpm de $0,343 \pm 0,27\%$ e @ 2.200 houve um aumento de $0,089 \pm 0,48\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura até B5.

Figura 130: Consumo – MEMO

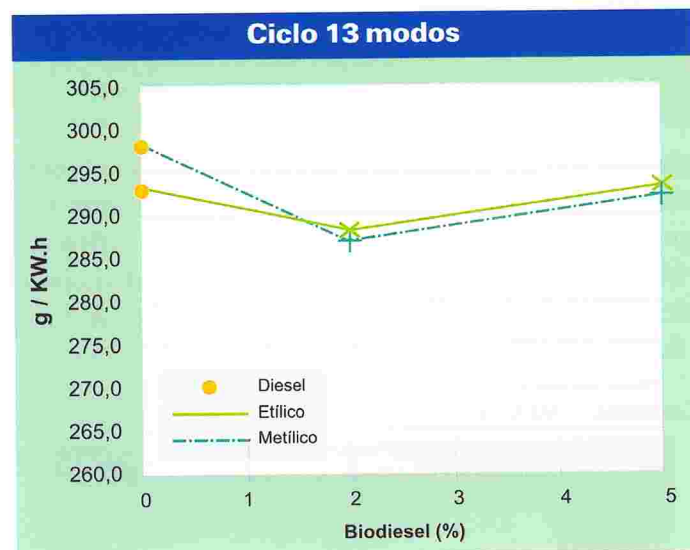


Para se ter uma visão mais completa da influência do uso do biodiesel no consumo de combustível, os dados experimentais obtidos durante o ciclo de 13 modos foram processados com o objetivo de calcular o consumo específico do ciclo usando os mesmos pesos e procedimentos aplicados nos cálculos das emissões. A Figura 131 mostra a variação do consumo específico médio no ciclo de 13 modos com biodiesel etílico e metílico de mamona.

Com a utilização de éster etílico de mamona, ocorreu um aumento pouco significativo no consumo médio específico de $0,03 \pm 0,36\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura.

Ocorreu uma redução no consumo específico médio de combustível metílico de mamona de $0,4 \pm 0,26\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura.

Figura 131: Consumo médio EEMO e MEMO – Ciclo de 13 modos

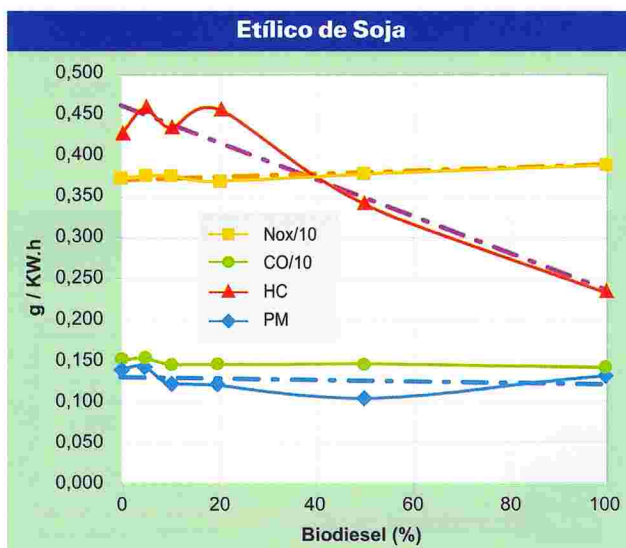


6.3.2.4. Características das Emissões

As Figuras 132 e 133 mostram os resultados das emissões do ciclo de 13 modos obtidas com o uso de ésteres etílicos e metílicos de óleo de soja.

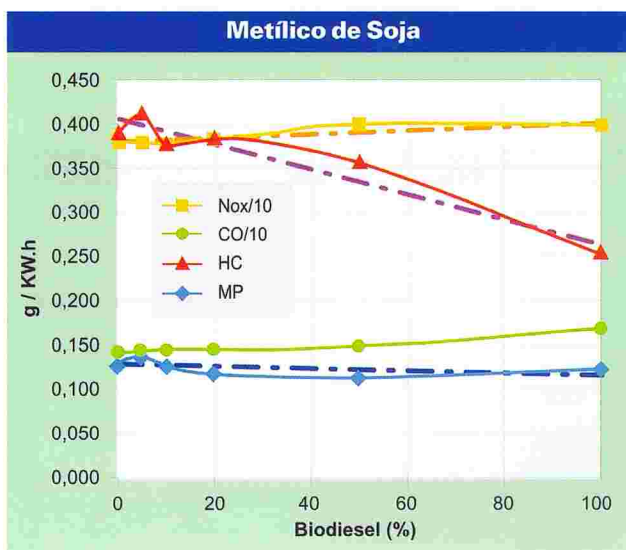
O uso de éster etílico de óleo de soja causou um aumento na emissão específica de NO_x para o ciclo de $0,078 \pm 0,021\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura. A mesma quantidade de biodiesel reduziu as emissões de CO em $0,024 \pm 0,025\%$, HC em $0,299 \pm 0,103\%$ e material particulado em $0,244 \pm 0,098\%$.

Figura 132: Emissões EESO



O uso de éster metílico de óleo de soja causou um aumento na emissão específica de NOx para o ciclo de $0,121 \pm 0,021\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura. A mesma quantidade de biodiesel aumentou a emissão de CO em $0,117 \pm 0,038\%$, reduziu a emissão de HC em $0,150 \pm 0,063\%$ e a emissão de material particulado em $0,288 \pm 0,067\%$.

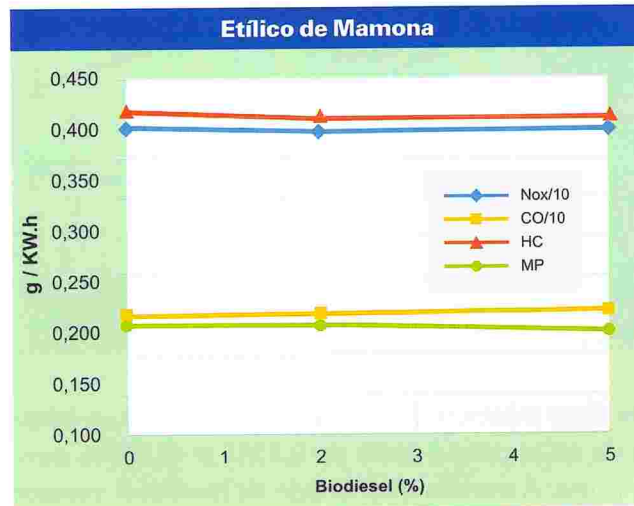
Figura 133: Emissões MESO



As Figuras 134 e 135 mostram os resultados das emissões do ciclo de 13 pontos obtidas com o uso de ésteres etílicos e metílicos de óleo de mamona até B5.

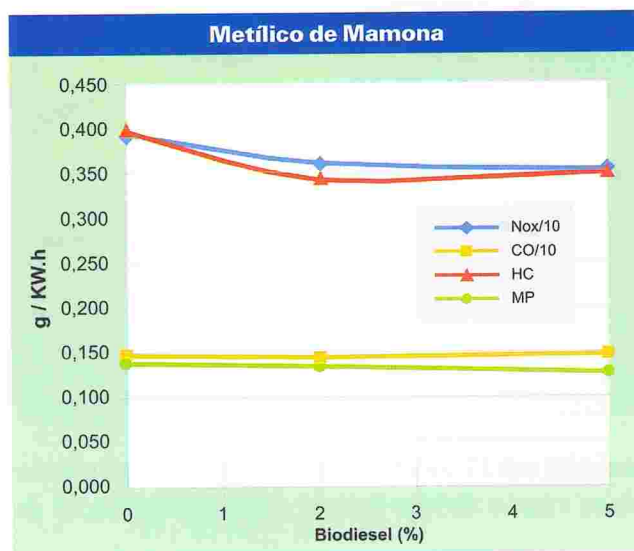
O uso de éster etílico de óleo de mamona causou uma redução na emissão específica de NOx para o ciclo de $0,3 \pm 0,09\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura até B5. A mesma quantidade de biodiesel aumentou as emissões de CO em $0,9 \pm 0,23\%$, reduziu a emissão de HC em $0,5 \pm 0,55\%$ e reduziu material particulado em $1,1 \pm 0,34\%$.

Figura 134: Emissões EEMO



O uso de éster etílico de óleo de mamona causou um aumento na emissão específica de NOx para o ciclo de $0,5 \pm 0,06\%$ para cada 1% de biodiesel na mistura até B5. A mesma quantidade de biodiesel aumentou as emissões de CO em $0,2 \pm 0,026\%$, HC em $0,7 \pm 1\%$ e reduziu material particulado em $0,9 \pm 0,08$.

Figura 135: Emissões MEMO



6.3.2.5. Parecer

Os testes de desempenho e emissões do motor MWM 4.07 TCE, funcionando com diferentes porcentagens de ésteres metílicos e etílicos de soja e de mamona, geraram resultados que não mostram diferenças estatisticamente significativas entre os dois tipos de éster.

Devido ao pequeno volume adquirido do biodiesel de mamona, somente foi possível testar misturas até B5.

Os resultados com misturas até B100 de biodiesel de soja em diesel mostraram um aumento médio do consumo específico de éster etílico de soja de $0,186 \pm 0,015\%$, sendo que para o metílico o aumento médio do consumo específico foi de $0,171 \pm 0,017\%$ com um intervalo de confiança de 95% para cada 1% de biodiesel na mistura. Os resultados com biodiesel de mamona indicaram um aumento médio de $0,03 \pm 0,36\%$ para cada 1% de biodiesel etílico de mamona na mistura até B5. Para a mesma quantidade de combustível metílico de mamona houve uma redução no consumo médio específico de $0,4 \pm 0,26\%$.

Os testes de emissões de 13 modos com misturas de biodiesel etílico de soja mostraram um aumento da emissão específica de NOx de $0,078 \pm 0,021\%$ para cada 1% de biodiesel. Para o mesmo aumento de biodiesel, as emissões de CO foram reduzidas em $0,024 \pm 0,025\%$, em HC $0,299 \pm 0,103\%$ e $0,244 \pm 0,098\%$ em material particulado. Para a mesma quantidade de biodiesel metílico de soja, ocorreu aumento na emissão de NOx em $0,121 \pm 0,021\%$ e CO em $0,117 \pm 0,038\%$. Houve uma redução de $0,150 \pm 0,063\%$ em HC e $0,288 \pm 0,067\%$ em material particulado.

Com biodiesel etílico de mamona, para cada 1% de biodiesel na mistura até B5 os resultados foram aumento de $0,3 \pm 0,09\%$ em NOx e $0,9 \pm 0,23\%$ em CO e uma redução de $0,5 \pm 0,55\%$ em HC e de $1,1 \pm 0,34\%$ no material particulado. Com biodiesel metílico de mamona, a mesma quantidade de combustível resultou em um aumento na emissão de NOx de $0,5 \pm 0,06\%$, CO em $0,2 \pm 0,026\%$ e HC em $0,7 \pm 1\%$. Houve uma redução na emissão de material particulado de $0,9 \pm 0,08\%$.

Nenhum dos testes com motor MWM 4.07 TCE operando com até B100 de soja ou B5 de mamona, indicou qualquer problema em potencial para o motor.

7. Qualidade dos Combustíveis

7.1. Considerações

O monitoramento da qualidade dos combustíveis óleo diesel, biodiesel B100 e mistura B5 foi realizado, de maneira geral, com uma prática comum na coleta de amostras conforme descrito a seguir:

1. Avaliação visual das condições de estocagem e do produto;
2. Coleta das amostras de forma estratificada ao longo da coluna de combustível, seja em tambores ou em tanques de armazenagem fixos ou móveis (caminhão tanque), assim como coleta de amostras nos bicos das bombas de abastecimento;
3. Utilização de dispositivo saca-amostras em material isento de elementos reativos com o biodiesel, como cobre, tendo sido utilizado com maior frequência o aço inoxidável ou material polimérico;
4. Acondicionamento das amostras em frascos de vidro na cor âmbar para se minimizarem os efeitos da luz do sol;
5. Transporte e armazenagem das amostras em ambientes sem variações extremas de temperatura;
6. Realização das análises em tempos relativamente próximos ao período de coletas das amostras

A qualidade dos combustíveis foi avaliada segundo suas metodologias específicas orientadas pelas seguintes Resoluções ANP, vigentes à época da realização dos testes:

Biodiesel B100 – Resoluções ANP 42/2004 e 07/2008;
Óleo Diesel e Biodiesel B5 – Resoluções 310/2001 e 15/2006.

É importante mencionar que, independentemente da rota tecnológica utilizada ou da fonte de matéria prima graxa empregada em sua produção, o biodiesel ou suas misturas somente poderão ser comercializados no Brasil desde que atendam aos requisitos de qualidade apresentados nas Tabelas 33 e 34, que caracterizam a qualidade do biodiesel e suas misturas com óleo diesel.

**Tabela 33: Especificação brasileira para o biodiesel B100
(Resolução ANP 07/2008)**

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISSO
Aspecto	-	LII (1)	-	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m3	850-900	7148 14065	1298 4052	EN ISO 3675 - EN ISO 12185
Viscosidade cinemática a 40°C	mm2/s	3,0-6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de água, máx. (2)	mg/kg	500	-	6304	EN ISO 12937
Contaminação total, máx.	mg/kg	24	-	-	EN ISO 12662
Ponto de fulgor, mín. (3)	°C	100,0	14598	93 -	EN ISO 3679
Teor de éster, mín	massa	96,5	15342 (4) (5)	-	EN 14103
Resíduo de carbono (6)	massa	0,050	-	4530	-
Cinzas sulfatadas, máx.	massa	0,020	6294	874	EN ISO 3987
Enxofre total, máx.	mg/kg	50	- -	5453	- EN ISO 20846 EN ISO 20884
Sódio + potássio, máx.	mg/kg	5	15554 15555 15553 15556	-	EN 14108 EN 14109 EN 14538
Cálcio + magnésio, máx.	mg/kg	5	15553 15556	-	EN 14538
Fósforo, máx.	mg/kg	10	15553	4951	EN 14107
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número de Cetano (7)	-	Anotar	-	613 6890 (8)	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	19 (9)	14747	6371	EN 116
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	14448 -	664 -	- EN 14104 (10)
Glicerol livre, máx.	massa	0,02	15341 (5) - -	6584 (10) - -	- EN 14105 (10) EN 14106 (10)
Glicerol total, máx.	massa	0,25	15344 (5) -	6584 (10) -	- EN 14105 (10)
Mono, di, triacilglicerol (7)	massa	Anotar	15342 (5) 15344 (5)	6584 (10)	- - EN 14105 (10)
Metanol ou etanol, máx.	massa	0,20	15343	-	EN 14110
Índice de iodo (7)	g/100g	Anotar	-	-	EN 14111
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín.(2)	H	6	-	-	EN 14112 (10)

Nota:

(1) LII – Límpido e isento de impurezas com anotação da temperatura de ensaio.

(2) O limite indicado deve ser atendido na certificação do biodiesel pelo produtor ou importador.

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

(4) O método ABNT NBR 15342 poderá ser utilizado para amostra oriunda de gordura animal.

(5) Para biodiesel oriundo de duas ou mais matérias-primas distintas, das quais uma consiste de óleo de mamona:

a) teor de ésteres, mono, diacilgliceróis: método ABNT NBR 15342;

b) glicerol livre: método ABNT NBR 15341;

c) glicerol total, triacilgliceróis: método ABNT NBR 15344;

d) metanol e/ou etanol: método ABNT NBR 15343.

(6) O resíduo deve ser avaliado em 100% da amostra.

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

(8) Poderá ser utilizado como método alternativo o método ASTM D6890 para número de cetano.

(9) O limite máximo de 19°C é válido para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Bahia, devendo ser anotado para as demais regiões. O biodiesel poderá ser entregue com temperaturas superiores ao limite supramencionado, caso haja acordo entre as partes envolvidas. Os métodos de análise indicados não podem ser empregados para biodiesel oriundo apenas de mamona.

(10) Os métodos referenciados demandam validação para as matérias-primas não previstas no método e rota de produção etílica.

Tabela 34: Especificação brasileira para o óleo diesel e misturas de biodiesel e óleo diesel (Resolução ANP 15/2006).

CARACTERÍSTICA (1)	UNIDADE	LIMITE		MÉTODO	
		TIPO		MÉTODO	ASTM
		Metropolitano	Interior		
APARÊNCIA					
Aspecto		Límpido, isento de impurezas		Visual (2)	
Cor		–	Vermelho	Visual (2)	
Cor ASTM, máx.		3,0	3,0 (3)	NBR 14483	D 1500
COMPOSIÇÃO					
Teor de Biodiesel,	vol.	(4)	(4)	Espectrometria de Infra-vermelho	
Enxofre Total, máx.	Mg/kg	500	1.800	NBR14875 – NBR14533 –	D 1552 D 2622 D 4294 D 5453
VOLATILIDADE					
Destilação	°C			NBR 9619	D 86
10 vol., recuperados		Anotar			
50 vol., recuperados, máx.		245,0 a 310,0			
85 vol., recuperados, máx.		360,0	370,0		
90 vol., recuperados		Anotar			
Massa específica a 20°C	kg/m3	820 a 865	820 a 880	NBR 7148, NBR 14065	D 1298 D 4052
Ponto de fulgor, min.	°C	38,0		NBR 7974 NBR 14598 –	D 56 D 93 D 3828
FLUIDEZ					
Viscosidade a 40°C, máx.	(mm2/s) CST	2,0 a 5,0		NBR 10441	D 445
Ponto de entupimento de filtro a frio	°C	(5)		NBR 14747	D 6371
FLUIDEZ					
Número de Cetano, mín. (6)	–	42		–	D 613
Resíduo de carbono Ramsbottom no resíduo dos 10 finais da destilação, máx.	massa	0,25		NBR 14318	D 524
Cinzas, máx.	massa	0,010		NBR 9842	D 482
CORROSÃO					
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx.	–	1		NBR 14359	D 130
CONTAMINANTES					
Água e Sedimentos, máx.	volume	0,05		NBR 14647	D 1796
LUBRICIDADE					
Lubricidade, máx. (7)	Micron	460	–		D 6079

Notas:

(1) Poderão ser incluídas nesta especificação outras características, com seus respectivos limites, para óleo diesel obtido de processo distinto de refino e processamento de gás natural ou a partir de matéria-prima que não o petróleo.

(2) A visualização será realizada em proveta de vidro de 1L.

(3) Limite requerido antes da adição do corante. O corante vermelho, segundo especificação constante da Tabela III deste Regulamento Técnico (vide www.anp.gov.br), deverá ser adicionado no teor de 20mg/L pelas Refinarias, Centrais de Matérias Primas Petroquímicas e Importadores.

(4) Adição obrigatória de biodiesel em percentual determinado pela legislação vigente.

(5) Limites conforme Tabela II (vide www.anp.gov.br).

(6) Alternativamente ao ensaio de Número de Cetano fica permitida a determinação do Índice de Cetano calculado pelo método NBR 14759 (ASTM D 4737), cuja especificação fica estabelecida no valor mínimo de 45. Em caso de desacordo de resultados prevalecerá o valor do Número de Cetano.

(7) Até 01/04/2007, data em que deverão estar sanadas as atuais limitações laboratoriais dos produtores, apenas os óleos diesel que apresentarem teores de enxofre inferiores a 250mg/kg necessitarão ter suas lubricidades determinadas e informadas à ANP, sem contudo comprometer a comercialização dos produtos.

7.2. Resultados Observados

De um modo geral, a qualidade do biodiesel B100 e das misturas B5 foi considerada satisfatória para os testes, mesmo tendo sido notados alguns parâmetros com não-conformidades em relação às especificações da ANP. Contudo, não foram consideradas críticas em relação aos propósitos dos testes, especialmente porque seus valores nominais não se distanciaram muito das faixas de controle.

Com relação a algumas não-conformidades tem-se que:

A medida do teor de água em algumas amostras analisadas nos testes indicou percentuais acima do especificado, apresentando teores de até o dobro da

concentração de água permitida (500 ppm), porém nenhum efeito foi observado sobre a integridade do B100 e das misturas B5 e nem mesmo efeitos sobre o motor, sistema de injeção de combustível, à exceção do biodiesel de mamona.

Para o B100 de mamona foram caracterizadas várias não-conformidades com as especificações já referidas, como índice de acidez, viscosidade, teor de ésteres, teor de água e massa específica; contudo, estas são características naturais para um biodiesel de mamona, e à luz da especificação da Resolução 42/2004, sua utilização seria possível.

Em um caso pontual, no teste do biodiesel de mamona com os tratores Valtra e monitoramento do Ladetel, foi observada a decomposição do biodiesel de mamona nos ácidos graxos correspondentes, os quais, devido à sua alta polaridade, separam-se do diesel de petróleo formando duas fases. A fase inferior era constituída dos ácidos graxos mencionados conforme análise instrumental realizada. Para efeito de reconfirmação, a fase inferior foi submetida à reação de esterificação por catálise ácida, tendo sido novamente convertida ao biodiesel correspondente, levando à comprovação de que originalmente o biodiesel de mamona sofrera decomposição por instabilidade hidrolítica nas condições de armazenamento, provavelmente na presença de água e/ou bactérias. Este fato não voltou a se repetir quando o sistema foi devidamente higienizado e mantido sob estrito controle, evitando a entrada de água. Portanto, a presença de ácidos graxos livres foi comprovada no B5 de mamona denotando sua maior sensibilidade à presença de água em relação ao biodiesel de soja.

Para o parâmetro estabilidade à oxidação, cuja não-conformidade foi observada em algumas amostras de alguns testes, chegou-se à conclusão de que as causas seriam atribuídas a problemas gerados tanto na coleta das amostras como em seu acondicionamento, transporte e mesmo ao tempo decorrido para a efetiva realização das análises.

De qualquer maneira, os lotes com baixa estabilidade foram eventuais e não comprometeram a qualidade do combustível, não sendo observados problemas nas misturas B5 formuladas a partir destes biodieseis oxidados e nem mesmo nos motores, seus sistemas e componentes, que pudessem ser relacionados ao biodiesel.

7.3. Ocorrência

Em inspeção realizada em filtros de combustível de veículos e nos tanques de estocagem das misturas B5, operando com misturas de biodiesel de mamona ou soja, constatou-se a existência de material pastoso aderido à superfície dos filtros (Figura 136).

Análises químicas preliminares caracterizam como componente inerente ao biodiesel que solidifica-se a temperaturas ambientes ou mais baixas.

Melhorias implementadas no processo de purificação do biodiesel evitaram a formação desses compostos nas bateladas seguintes.

Figura 136: Material pastoso proveniente do biodiesel que se deposita e obstrui filtros de combustível



Conforme visualizado na Figura 137, em amostras de biodiesel de mamona de dois fabricantes – Brasil Ecodiesel e Unifacs – foi observada a formação de um sistema coloidal gelatinoso que se forma depois de algum tempo de estocagem do B100.

Figura 137: Biodiesel B100 de mamona com turvamento



Fonte: Petrobras/Cenpes, 2007.

Recomenda-se que, nos próximos testes de misturas com biodiesel, sejam novamente monitorados os valores de contaminação total e de elevação de pressão no filtro de todos os combustíveis, especialmente nas misturas

com biodiesel de mamona, para identificar a existência de correlação, bem como a eventual ocorrência de problemas operacionais relacionadas a este fato, não observados neste trabalho.

É oportuno mencionar que não foi observado qualquer efeito no desempenho ou falhas no sistema de combustível dos motores testados. No entanto, a remoção dos componentes de alto ponto de fluidez do biodiesel de mamona deve ser um item de controle especial durante o seu processo de produção, para eliminar o risco de bloqueios de filtros dos motores em campo devido ao uso desse combustível.

8. Aspectos Relativos às Condições de Estocagem dos Combustíveis

O biodiesel é um produto orgânico e, portanto, suscetível à degradação química e biológica, sendo de relativa baixa estabilidade e integridade. Esse fato remete à preocupação especial quanto às condições e cuidados na estocagem do biodiesel B100 e mesmo de suas misturas com o óleo diesel.

Há de se prever a revisão de itens críticos, como a presença de água no biodiesel, que é um parâmetro sem controle eficaz nas situações de estocagem no mercado brasileiro.

A realização de programas de monitoramento e racionalização do uso de combustíveis e manutenção de sua qualidade, como o Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (Conpet) www.conpet.gov.br devem ser estimulados em todos os segmentos consumidores.

Como ilustrado nas Figuras 138, 139 e 140, não são raros nas situações de campo sistemas de estocagem em condições inadequadas ao recebimento da mistura B5, que não permitem a satisfatória manutenção da qualidade do combustível.

Figura 138: Sistemas de filtragens com baixa eficiência



Figura 139: Respiros inadequados



Figura 140: Sistema de drenagem de fundo de tanque bloqueado



Fica evidente que instalações de estocagem de combustível com algum tempo de vida devem ser aprimoradas para a realização uma operação segura da mistura B5. Dentre uma série de providências a serem tomadas, destacam-se algumas:

1. Instalação de dreno para água operacional e seu efetivo uso;
2. Adequação dos filtros de partículas e, se possível, a instalação de um filtro com dreno para água;
3. Instalação de adequado sistema de respiro que permita o equilíbrio da pressão interna do tanque, minimize a entrada de ar úmido e evite a entrada de água; e
4. Adoção de procedimentos padronizados de drenagem e limpeza periódica dos tanques.

9. Qualidade do Óleo Lubrificante

Visando a manutenção do intervalo de troca de óleo lubrificante estabelecido por cada fabricante de motor, foram utilizados óleos lubrificantes aceitos e recomendados. Foram coletadas amostras em períodos regulares e as análises foram efetuadas pelos respectivos fabricantes de óleo, considerando-se os seguintes tópicos de avaliação:

1. Aditivos de manutenção da reserva alcalina TBN (Ca e Mg) apresentaram comportamento normal durante o intervalo de uso de 20.000 km, demonstrando que durante a utilização do B5 não houve alteração das características do óleo pelos subprodutos de combustão da mistura. A redução do TBN ao longo do uso é normal. Isso ocorre em função da neutralização dos ácidos formados na combustão, principalmente nos compostos de enxofre presentes no óleo diesel. Considera-se como o valor de alerta a metade do valor de TBN do óleo novo.
2. Aditivos de Extrema Pressão – EP (ZZDP: Zn e P) demonstraram comportamento normal quanto à concentração no óleo; sua atuação pode ser comprovada pela análise dos metais contidos no lubrificante e também pelas condições dos componentes internos do motor.
3. Para aplicações urbanas, onde há maior queda nos níveis de viscosidade em relação às aplicações rodoviárias, este parâmetro encontra-se dentro dos limites aceitáveis.
4. A diluição por combustível, apesar de ter influência direta na queda de viscosidade, permaneceu dentro de parâmetros aceitáveis para a aplicação urbana ou rodoviária.
5. Os valores de fuligem mostraram-se inalterados quando comparados com o diesel, não demonstrando influência representativa do B5 durante o teste.
6. Sulfatação, Nitração e Oxidação mantiveram-se normais quando comparados aos motores com uso de S500.
7. Glicol, sódio e potássio, encontrados no sistema de arrefecimento e no combustível (catalisadores NaOH e KOH), apresentaram con-

centrações insignificantes ou mantiveram-se abaixo do limite de detecção do método/equipamento.

8. Os metais encontrados nas análises do óleo lubrificante, provenientes de desgaste dos componentes internos do motor, apresentaram-se dentro dos limites normais independentemente do combustível utilizado e da aplicação do veículo.

Os resultados das análises de óleo lubrificante confirmaram que o uso das misturas B5 não influenciou sua degradação. As medidas de consumo de óleo lubrificante situaram-se dentro dos valores especificados pelos fabricantes para as respectivas aplicações.

As propriedades de proteção ao desgaste, limpeza do motor, proteção à corrosão e outras foram consideradas em conformidade com as especificações dos fabricantes.

10.1. Qualidade dos combustíveis

Muito embora o combustível B100 apresentasse situações pontuais de não-conformidade com as especificações das Resoluções ANP 42/2004 e/ou 07/2008, com especial referência ao produto derivado do óleo de soja para os teores de água e estabilidade à oxidação e de mamona quanto à elevada viscosidade, nenhuma ocorrência foi considerada crítica, não necessitando de intervenção. Não houve também a verificação de efeitos graves na operacionalidade de equipamentos e sistemas ou mesmo sobre a integridade de componentes. Cabe a ressalva de alguns casos que necessitam de maior investigação.

O item da especificação ANP 07/2008, contaminação total, mostra-se como um parâmetro de controle a ser observado para garantir a não existência de compostos que possam gerar entupimento de filtros de combustível.

Os lotes de B100 utilizados neste programa, mesmo não estando em total conformidade com as especificações, foram considerados como de qualidade satisfatória.

Os combustíveis de teste, B5 de soja, B5 de mamona e óleo diesel, metropolitano ou interior, mantiveram-se dentro da especificação do óleo diesel conforme as Resoluções ANP 310/2001 e 15/2005, não tendo sido notado qualquer aspecto de não-conformidade.

Cabe destaque ao produto biodiesel de mamona, pois foram identificados depósitos em filtros que seriam constituídos por compostos de alto ponto de fluidez.

A qualidade do óleo lubrificante manteve-se com características físico-químicas semelhantes às do óleo lubrificante dos motores que operaram com o óleo diesel, conforme as especificações de cada fabricante, não sofrendo alterações significativas com os diferentes tipos de combustíveis utilizados.

Assim, foram mantidos os mesmos intervalos de troca de óleo recomendados pelas manutenções preventivas de cada fabricante.

10.2. Desempenho dos motores e veículos

As curvas de torque e de potência dos motores, que utilizaram as misturas B5, ficaram dentro dos limites especificados.

Todas as diferenças observadas entre as curvas estão dentro da faixa de variação de projeto desses motores, sem existir tendência definida.

O consumo de combustível com as misturas B5 foi, em média, ligeiramente superior ao consumo com o óleo diesel. Este aumento está relacionado com a propriedade de menor conteúdo energético do biodiesel e suas características de combustão em motor. Adicionalmente, pequenas variações entre os números medidos podem estar relacionadas com as diferenças obtidas entre os valores de rotação, forma de abastecimento, carga transportada e condições de tráfego.

Nos testes em dinamômetro e em campo não foram relatadas falhas relacionadas ao uso do combustível B5 e, assim, concluiu-se que não há restrição quanto à utilização dessa mistura de biodiesel em motores (novos e usados) por cada fabricante envolvido no programa de testes.

A dirigibilidade e o desempenho percebidos pelos condutores foram considerados normais durante todo o período de teste, não tendo sido notada qualquer diferença entre os carros, segundo seus relatos.

10.3. Efeito em motores, seus sistemas e componentes

Os componentes do motor apresentaram-se em bom estado ao final dos testes, sem formação de borra, carvão e verniz em seus sistemas e componentes, apresentando desgastes normais para cada aplicação.

Os elastômeros presentes nos motores e seus sistemas indicaram comportamento normal, sem ressecamento ou deformação com o uso das misturas B5.

As análises dos componentes móveis internos dos motores indicam que o nível de desgastes está aceitável para a quilometragem percorrida pelos veículos. Todavia, observou-se que o desgaste das faces dos anéis e dos cilindros dos motores que usaram biodiesel foi levemente superior aos motores que usaram óleo diesel, porém a diferença observada é pequena e não representa risco de falha destes componentes.

Os sistemas de injeção de combustível dos motores e seus componentes que operaram com B5 não apresentaram diferenças nas avaliações funcionais e de durabilidade comparadas com os componentes que operaram com o diesel, não sendo verificado qualquer indício de ataque químico sobre os componentes do sistema de alimentação de combustível pelo uso dos diferentes combustíveis testados

No sistema de filtragem de combustível, os componentes apresentaram a mesma eficiência e desempenho dos componentes com o uso do óleo diesel, não sendo evidenciada a presença de borras no elemento filtrante ou qualquer alteração da sua estrutura. Mas cabe salientar o elevado valor de

pressão diferencial encontrado para os filtros que operaram com B5 de mamona, comparados com os filtros que operaram com B5 de soja e com o óleo diesel. Esse fato evidencia a necessidade de melhor controle no processo de produção do biodiesel de mamona para garantir a remoção de compostos com alto ponto de fluidez inerentes a este produto.

10.4. Emissão de poluentes

Para as misturas B5 em banco dinamométrico, os resultados das emissões medidas foram relativamente satisfatórios, com redução em emissão de CO (7%), HC (5%), MP (10%) e acréscimo para NO_x (4%) em média.

As emissões de NO_x, CO e HC mantiveram-se dentro dos limites especificados para cada tipo de motor com todos os combustíveis testados, no início e no final dos testes.

O índice de opacidade apresentou-se dentro dos limites homologados na certificação dos motores.

Em relação aos biodieseis metílicos e etílicos de soja e mamona, os testes em dinamômetro demonstram não haver diferença estatística significativa entre suas emissões.

Para misturas acima de 5%, os testes de emissões operados com biodiesel de soja e mamona, de acordo com o ensaio de 13 modos em banco dinamométrico, mostraram uma tendência de aumento nas emissões específicas de NO_x, e redução das emissões de CO, HC e MP em relação ao óleo diesel.

11. Equipe de Coordenação e Execução

Quadro 1: Instituições e representantes componentes da Comissão Técnica de Coordenação

Comissão Técnica Gestora do Programa de Testes e Ensaios em Motores			
Instituição/Representante	Sigla	Cidade	Website
Ministério da Ciência e Tecnologia Adriano Duarte Filho	MCT	Brasília	www.mct.gov.br
Ministério da Ciência e Tecnologia Rafael Silva Menezes	MCT	Brasília	www.mct.gov.br
Ministério da Ciência e Tecnologia Gustavo de Lima Ramos	MCT	Brasília	www.mct.gov.br
Ministério de Minas e Energia Ricardo B. Gomide	MME	Brasília	www.mme.gov.br
Casa Civil da Presidência da República Rodrigo Rodrigues	Casa Civil	Brasília	www.presidencia.gov.br
Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Carlos Cristo	MDIC	Brasília	www.mdic.gov.br
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis Rosângela Moreira Araújo	ANP	Rio de Janeiro	www.anp.gov.br
Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Combustíveis Alternativos Edilson Bernardim Andrade	Probiodiesel	Curitiba	www.tecpar.br
Instituto Nacional de Tecnologia Eduardo Cavalcanti	INT	Rio de Janeiro	www.int.gov.br
Instituto de Tecnologia do Paraná José Carlos Laurindo	Tecpar	Curitiba	www.tecpar.br
Instituto de Pesquisas Tecnológicas Francisco Emílio Baccaro Nigro	IPT	São Paulo	www.ipt.br
Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores Henry Joseph Junior	Anfavea	São Paulo	www.anfavea.com.br
Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores Mario Luz Teixeira	Anfavea	São Paulo	www.anfavea.com.br
Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores Christian Wahnfried	Sindipeças	São Paulo	www.sindipeças.org.br
Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores Vicente Pimenta	Sindipeças	São Paulo	www.sindipeças.org.br
Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras Carlos Vinícius Costa Massa	Petrobras	Rio de Janeiro	www.petrobras.com.br

Quadro 2: Instituições e representantes componentes dos projetos B5

Integrantes do Programa de Validação B5			
Instituição/Representante	Siwglá	Cidade	Website
Mercedes-Benz do Brasil Maurício Pereira	MBBras	São Paulo	www.mercedes-benz.com.br
Shell Brasil Ltda. Gaspar Ferfoglia	Shell	São Paulo	www.shell.com.br
Robert Bosch Ltda. Christian Wahnfried	Bosch	Curitiba	www.bosch.com.br
Hengst Indústria de Filtros Ltda. Pablo Soboleff	Hengst	Joinville	www.hengst.de
Parker Hannifin Indústria e Comércio Ltda. Marcelo Mello	Parker	São Paulo	www.parker.com
Instituto de Tecnologia do Paraná Edilson Bernardim Andrade	Tecpar	Curitiba	www.tecpar.br
Brasil Ecodiesel Indústria e Comércio de Biocombustíveis e Óleos Vegetais S.A. Ricardo Alonso	Brasil Ecodiesel	Rio de Janeiro	www.brasilecodiesel.com.br
Mahle Metal Leve S.A. Antonio Carlos Boldo Carlos Roberto Camargo	Mahle	São Paulo	www.mahle.com.br
Viação Cidade Dutra Ltda. Celso Olegário Pazzotto	VCDutra	São Paulo	www.vcdutra.com.br
Scania Latin America Ltda. Marco Antonio Garcia Carlos Minoru Tonohoka Fabio Bergamo Rufino	Scania	São Bernardo do Campo	www.scania.com
Petróleo Brasileiro S.A. Carlos Vinicius Massa	Petrobras	Rio de Janeiro	www.petrobras.com.br
Rodomax Transportes Ltda. Milton Dall'agnol	Rodomax	Cascavel	-
Petrobras Distribuidora S.A. Vinicius Moia Monte Alegre Flávio Gusmão	BR BR	Curitiba Salvador	www.br.com.br
Battistella Veículos Pesados Elizandro Antonio Casonatto	Battistella	Cascavel	www.battistella.com.br
Universidade Salvador Miguel Andrade Filho	Unifacs	Salvador	www.unifacs.br
Ford Motor Company Brasil Ltda. Leandro H. Benvenuti	Ford	Camaçari	www.ford.com.br
MWM-International Motores Guilherme Ebeling	MWM	São Paulo	www.mwm.com.br
Continental Brasil Ind. Automotiva Ltda. Alexandre Rezende	Continental	São Paulo	www.vdo.com.br

Integrantes do Programa de Validação B5

Instituição/Representante	Sigla	Cidade	Website
TI Automotive Wagner Ferreira	TI Automotive	São Paulo	www.tiauto.com
Michelin Brasil Renato Pinto da Silva	Michelin	São Paulo	www.michelin.com.br
Federação das Indústrias do Estado da Bahia Armando Alberto da Costa Neto	Fieb	Salvador	www.fieb.org.br
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia Dora Leal Rosa	Fapesb	Salvador	www.fapesb.ba.gov.br
Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado da Bahia Telma Andrade	Secti	Salvador	www.secti.ba.gov.br
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Marco Antonio Zago	CNPq	Brasília	www.cnpq.br
Volkswagen Caminhões e Ônibus Gian Gomes Marques	VW	São Paulo	www.vwbr.com.br
Universidade Federal do Rio de Janeiro Suzana Kahn Ribeiro	UFRJ	Rio de Janeiro	www.ufrj.br
Engemix S.A.	Engemix	Rio de Janeiro	www.engemix.com.br
Instituto Nacional de Tecnologia Eduardo Cavalcanti	INT	Rio de Janeiro	www.int.gov.br
Real Auto-Ônibus Ltda. Cláudio Callak	Real	Rio de Janeiro	www.realautoonibus.com.br
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento Dennis Rempel	LacTec	Curitiba	www.lactec.org.br
Universidade de São Paulo (USP) Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas Miguel J. Dabduob	Ladetel	Ribeirão Preto	www.usp.br

12. Projetos Suplementares

Com o objetivo de ilustrar o cenário de pesquisa e desenvolvimento tecnológico para a aplicação do biodiesel em sistemas veiculares e estaionários, seguem citações de outros projetos realizados no Brasil que não estiveram diretamente ligados ao Programa de Validação do Combustível B5, mas que têm interesse e importância estratégica, tendo em vista a possibilidade de aplicação em nichos de mercado.

12.1. Teste B30 com a Peugeot e Citroën

Este teste foi consentido pela ANP sob autorização nº 291/2006 e visou a avaliação do uso de misturas B30, – 30% de biodiesel em volume no diesel de petróleo (70%) – em veículos leves a diesel de passageiros das marcas Peugeot e Citroën, fabricados no Brasil. A frota de testes foi constituída de dois Xsara Picasso, dois Peugeot 206 (Figura 141), um Partner de passageiros, um Partner de carga, um Berlingo de passageiros e um Berlingo de carga.

O programa de testes tem sido realizado pelo grupo PSA Peugeot Citroën, em conjunto com o Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (Ladetel) de Ribeirão Preto, da Universidade de São Paulo, com a participação da Delphi e da Bosch na avaliação dos sistemas de injeção de combustível.

Figura 141: Peugeot 206 e Citroën Xsara Picasso com B30



Os veículos utilizaram o biodiesel etílico de soja misturado em proporção de 30% ao diesel de petróleo, durante ininterruptos dois anos e seis meses (setembro de 2003 a março de 2006) de realização da primeira fase dos testes.

Os veículos operaram de 600 a 700 km/dia durante a maior parte do projeto, oscilando com intervalos de operação de 100 km/dia para simular condições reais de uso e avaliar a possibilidade de degradação do combustível por oxidação, fato esse não observado mesmo após 112.000 km operados pelo Xsara Picasso e 102.000 km pelo Peugeot 206, em que nenhuma ocorrência negativa foi registrada.

Após o teste observou-se que os motores que utilizaram biodiesel de soja B30 não apresentaram desgaste anormal. Os resultados ficaram dentro dos limites especificados, sem ocorrência de quebra ou dano nos componentes.

Assim sendo, os resultados levaram o Grupo PSA Peugeot Citroën a aprovar a utilização do biodiesel de soja, em uma proporção de até 30% misturado ao diesel (B30), que atenda os padrões de qualidade equivalentes àqueles empregados deste teste (pr EN 14214)¹ e para a Resolução ANP 07/2008 publicada após a realização neste teste. Essa utilização do biodiesel B30 estende-se às bombas ciclomotoras e também ao sistema de injeção eletrônica Common Rail.

Uma segunda fase está em desenvolvimento, empregando uma frota nova de seis veículos zero km, dos quais cinco utilizam o biodiesel, sempre em proporção de 30% (B30) e um veículo é utilizado como “sombra”, empregando o diesel interior ou S2000. Optou-se pelo uso das misturas do biodiesel de soja em 30% e do dendê também em 30%, enquanto o biodiesel de mamona seria usado em mistura com o biodiesel de soja em proporções de 25% de mamona e 75% de soja. Esse fato se deveu à necessidade de atender aos parâmetros de qualidade do B100 também quanto à densidade, viscosidade e número de cetano, uma vez que o biodiesel de mamona puro não atende a estes parâmetros, mesmo sendo de boa qualidade. Esta última mistura está sendo usada em uma proporção de 30% de biodiesel no total, o que equivale a se ter uma mistura final contendo 7,5% de biodiesel de mamona, 22,5% de biodiesel de soja e 70% de diesel interior. Até o presente momento foram contabilizados 500.000 km rodados por toda a frota.

12.2. Teste com motores off-road

Foram realizados testes com máquinas e motores off-road usando biodiesel etílico de soja nas proporções de 5% (B5), 10% (B10), 20% (B20), 50% (B50) até atingir 100% (B100) de biodiesel puro.

O teste foi realizado sob Autorização da Agência Nacional de Petróleo (Anp), Gás e Biocombustíveis nº 224 e publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 17/06/2005. Foram utilizadas máquinas Caterpillar,

¹ Posteriormente a este teste a ANP emitiu a especificação dada pela Resolução ANP 07/2008 que estabelece limites mais rigorosos para a qualidade do biodiesel B100, equivalentes a pr EN 14214.

modelo CAT 140H, equipadas com motor 3176C 3PDI, sistema de injeção “Pump Direct Injection”, além do caminhão modelo CAT 777C equipado com motor CAT 3508 EUI, sistema de injeção “Electronic Unit Injection”. Também foram incluídos no programa de teste um caminhão Volkswagen 17270, equipado com motor Cummins 6CT e um gerador de energia elétrica equipado com motor MWM/Perkins que operou exclusivamente com B100 (Figura 141).

Figura 142: Máquina Caterpillar modelo CAT 140H, caminhão modelo CAT 777C e Volkswagen 17270



Todos os equipamentos, máquinas e motores do presente teste são de propriedade da empresa Rio Paracatu Mineradora (RPM).

Os testes foram realizados em condições reais (normais) de trabalho durante um ano e seguindo as atividades de rotina de funcionamento da mineração de ouro na região de Paracatu – MG, incluindo a logística de abastecimento em posto já existente na sede da RPM, com a utilização de um tanque de 15.000 litros para a estocagem do biodiesel de soja puro (B100) e outro de 5.000 litros para as misturas diesel/biodiesel de soja.

O uso do combustível foi feito com incremento gradativo do teor de biodiesel sendo misturado ao diesel, ou seja, os testes com teores menores de biodiesel, por exemplo, B20 e B30 foram realizados primeiro para, na sequência, começar os testes com os teores maiores de biodiesel misturado ao diesel de petróleo: B40, B50, B75, B80, B90 e B100.

Após 7.000 horas de operação (final dos testes) com biodiesel (de B20 a B100) procedeu-se à abertura do motor modelo 3508 EUI (serial number 4XJ00874). O trabalho de abertura do motor foi realizado na Sotreq S.A. – Filial de Contagem, MG. Observou-se que a condição de desgaste das peças/componentes, após desmontagem das mesmas, não apresentou anormalidade em comparação aos motores que usam óleo diesel como puro combustível.

Em relação aos desgastes mecânicos observados em peças e componentes, eles podem ser considerados normais ao funcionamento dos motores, não sendo relacionados ao uso do biodiesel.

Comparando o consumo específico (l/t.km), a média indicou que usando B20 são consumidos 0,204 litros por tonelada transportada no caminhão 777C (Angelim) enquanto usando diesel puro são consumidos 0,219 l/t. O trabalho comparativo feito entre B20 e diesel puro mostrou consistência e reprodutibilidade na redução percentual mínima de 4,33% e máxima de 13,58%.

Analisando-se as médias de consumo específico (l/t.km) observa-se que a vantagem está sempre com o uso do B20 em comparação ao uso de qualquer outra mistura com teor de biodiesel superior como B30, B40, etc.

No caso do B20 vs. B0 (diesel puro) ocorre uma redução média de 8,83% calculada com base no consumo específico (l/t.km) na relação 0,395 l/t.km para B20 contra 0,433 l/t.km para B0.

No caso do B20 também não é perceptível variação no desempenho, (potência ou torque), comparado ao uso do diesel de petróleo. Fato diferente ocorre quando se utilizou o B100, devido ao seu menor poder calorífico. Isso pode ser verificado na Tabela 35 com os resultados no teste do dinamômetro com o motor 3508 EUI.

Tabela 35: Ensaio dinamométrico com motor Caterpillar 3508

Teste	Carga		Torque		Emissão de gases	Temperatura explosão
	RPM	Potência	RPM	Carga		
Recondic.	1710	886	1290	3150	43.4	551/610
B5	1720	897	1300	3210	44.3	528/551
B10	1720	900	1290	3200	45.5	556/607
B20	1740	892	1310	3190	46.6	555/583
B50	1720	869	1310	3120	44.3	537/580
B100	1720	888	1300	3165	45.7	546/599
B20	1720	873	1300	3130	45.7	531/563
B100	1740	835	1320	2980	41.9	511/553

O fabricante Caterpillar afirma não haver problema algum com o uso do biodiesel, tendo autorizado o uso de até 30% (B30), desde que o mesmo atenda às especificações de qualidade ASTM 6751.

12.3. Teste B20 com motor Mercedes-Benz do Brasil

Os testes tiveram como objetivo avaliar a influência do combustível Biodiesel B20 nos componentes do motor e nos componentes em contato direto com o mesmo. Essa avaliação consistiu na detecção da deterioração e desgastes nos componentes do motor, tais como a formação de borra, verniz, carvão e ataque químico.

Para se avaliar a influência do combustível biodiesel-B20 no desempenho, consumo de combustível, deterioração e desgaste de componentes, foram realizados testes comparativos entre motores eletrônicos OM904LA (130kW), OM906LA (180kW) e OM457LA (1.265kW) montados respectivamente em veículos OF1417, 0500M e 0500UA (Figura 143), pertencentes à Viação Cidade Dutra, que rodaram no total 1.738.300 km com biodiesel B20 e diesel S500 em trecho urbano.

Figura 143: Veículos Mercedes-Benz OF1417, 0500M e 0500UA da Viação Cidade Dutra



Os seguintes tópicos foram avaliados para a determinação do comportamento dos motores:

a) Comportamento dos motores na aplicação veicular.

Consumo de combustível: os veículos com uso de B20 apresentaram incremento de consumo na faixa de 1,7 a 4,2 % em relação ao S500, essas variações estão relacionadas também com as diferenças entre os trechos de rodagem (rota), forma de abastecimento, pessoas transportadas (carga) e condições de tráfego.

b) Deterioração, desgastes e ataque químico nos componentes do motor.

Os resultados das análises comparativas, realizadas nos motores com uso de B20 e S500, apresentaram-se normais e não evidenciaram problemas de formação de borra, verniz ou depósitos de carvão, como também não foram constatados desgastes ou ataques químicos aos componentes em contato com biodiesel.

c) Comportamento dos sistemas de combustível e lubrificante.

Os fornecedores e responsáveis pelos sistemas de injeção (Bosch), filtro separador de água (Parker), filtro de combustível (Mahle), filtro de óleo (Hengst e Mann), óleo lubrificante (Shell) e tanque de combustível (BDE-Mercedes-Benz) relatam que não foram constatadas anormalidades em seus componentes quanto ao funcionamento e durabilidade com o uso do B20.

Após 1.738.300 km rodados (13 meses) em trecho urbano em veículos monitorados e sem falhas relacionadas ao uso do combustível B20, concluiu-se que não há restrição quanto à utilização dessa mistura de biodiesel em motores eletrônicos (novos e usados) de fabricação Mercedes-Benz com sistema de injeção tipo "UPS".

Resumidamente seguem abaixo todos os aspectos da comparação dos motores com uso de B20 e S500:

- Consumo de combustível: os veículos com uso de B20 apresentaram incremento de consumo de combustível na faixa de 1,7 a 4,2 % em relação ao S500.
- Índice de opacidade: apresentaram-se dentro dos limites homologados da certificação dos motores.
- Dirigibilidade: em ordem, sem influências.
- Formação de borra, carvão e verniz: sem evidência. Os componentes do motor apresentaram-se em ordem.
- Desgaste dos componentes: apresentaram-se normais para o tipo de aplicação.
- Ataque químico: não constatado problema nos componentes que estiveram em contato o B20.

- Elastômeros: indicaram comportamento normal, sem ressecamento ou deformação.
- Óleo lubrificante: mantiveram-se as mesmas características do óleo que rodou com S500, mantendo dessa forma o mesmo intervalo troca de óleo.
- Sistema de injeção do motor: as peças que rodaram com B20 não apresentaram diferenças significativas nas avaliações funcionais e durabilidade comparada com as peças que rodaram com o S500, salientando o maior depósito nos bicos que rodaram com B20 quando comparados com os bicos que rodaram com S500.
- Tubulação de combustível do motor: apresentaram, nas peças não metálicas remoção, da camada de proteção superficial mais acentuada nas peças que rodaram com combustível B20; porém essa remoção não causou problemas ou efeito ao sistema de injeção e ao motor.
- Sistema de filtragem de óleo e combustível: as peças apresentaram a mesma eficiência e desempenho das peças com uso de S500.

Face aos resultados obtidos no comportamento dos motores e seus componentes periféricos, conclui-se que o uso do combustível biodiesel B20 (éster metílico de soja) não acarretou qualquer falha ou dano nos motores.

A posição da Mercedes-Benz do Brasil em relação ao uso do B20 com restrição de não-restrição, desde que seja elaborada uma resolução específica para este combustível baseada na ANP 15/2006, com especificações mais rigorosas quanto ao teor de água e estabilidade à oxidação.

12.4. Teste em gerador de eletricidade – Ensaio de partida em motor com mistura B5 envelhecida

Participaram deste projeto, sob convênio Finep nº 01.06.1021. (Rede de Estudos e Pesquisas sobre Estabilidade, Armazenamento e Problemas Associados), liderada pelo INT/Lacor, a Delphi Diesel Systems, o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e a Petrobras.

Neste teste foi estudado o efeito da utilização de misturas B5 com biodiesel envelhecido nas partidas de um motor estacionário mantido nas condições de campo mais desfavoráveis possíveis. O motor de fabricação MWM-International, dotado de sistema de injeção Delphi, foi deixado em galpão aberto sujeito às condições de temperatura e umidade durante um período de seis meses. A mistura B5 foi preparada a partir de um diesel metropolitano ao qual foi adicionado um biodiesel envelhecido em laboratório de acordo com o procedimento ASTM 4625. Foi também mantido o respiro do tanque de combustível, evitando-se que o motor permanecesse paralisado por períodos superiores a um mês.

No teste, procurou-se verificar a existência de dificuldade ou mesmo impossibilidade de se realizar a partida, bem como avaliar se o interior da bomba injetora, tanque, tubulação ou filtros poderiam, eventualmente, sofrer alguma forma de ataque, processo de entupimento ou mesmo alteração significativa capazes de gerar problemas no sistema de injeção e prejudicar a partida do motor.

As hipóteses indutoras de riscos à funcionalidade (partida) e durabilidade de motores estacionários, são:

1. A mistura B5 contendo biodiesel envelhecido (doravante denominada de mistura B5 envelhecida) poderia corromper de alguma maneira o sistema de injeção de combustível a ponto de colocar em risco a partida do motor;
2. A mistura B5 degradada (envelhecida) poderia atacar componentes, entupir o filtro de combustível e impedir a partida do motor.

Condições de teste

a – Motor

Para a realização do teste foi utilizado um motor MWM-International 4.10 NA em condições normais. O sistema de arrefecimento não foi montado, uma vez que o motor não ficaria funcionando por muito tempo, e seria ligado somente durante a partida.

Foi utilizada bomba rotativa mecânica e bicos injetores de fabricação Delphi, que foram protocolados para conferência após o teste.

Foi utilizado filtro de combustível com elemento de filtro novo e sem uso, de fabricação Delphi. Este filtro, próprio para utilização com diesel, é confeccionado em papel especial enrolado e colado no interior de uma careca de metal.

O gerador de eletricidade (Figura 144) foi montado em condições mais próximas possível das encontradas em campo, variando altas e baixas temperaturas e com diferentes níveis de umidade relativa ao longo dos dias e das noites em que o gerador ficou submetido.

O tanque de combustível (Figura 144), fabricado com polipropileno, foi adquirido na cor preta, considerada adequada devido ao fato de potencializar o efeito da temperatura no combustível; o respiro do tanque ficou aberto durante o teste, possibilitando assim trocas de umidade e de vapores com o meio ambiente.

O volume inicial de mistura foi propositadamente mantido em um nível baixo, com o objetivo propiciar um condição mais favorável para a ab-

sorção de umidade do ar e também facilitar a ação do oxigênio do ar sobre o combustível.

Figura 144: Gerador de eletricidade e periféricos da fabrica da Delphi



Para o teste foi utilizada uma bateria nova, que era retirada do gerador e recarregada para cada partida, para que apenas os efeitos do biodiesel no sistema de injeção pudessem ser os responsáveis por eventuais problemas na partida. A garantia da partida foi mantida com o uso da bateria e com o auxílio de um carregador paralelo.

b – Combustível

Para a realização do teste foi primeiramente necessária a obtenção do diesel puro, ou seja, sem adição de biodiesel. A Petrobras foi responsável pelo fornecimento deste produto tipo S500 para o INT, e o biodiesel (metílico de soja) obtido comercialmente, contendo 250 ppm aditivo antioxidante TBHQ especificado segundo a Resolução ANP Nº 7/2008, que regulamenta a qualidade do biodiesel brasileiro.

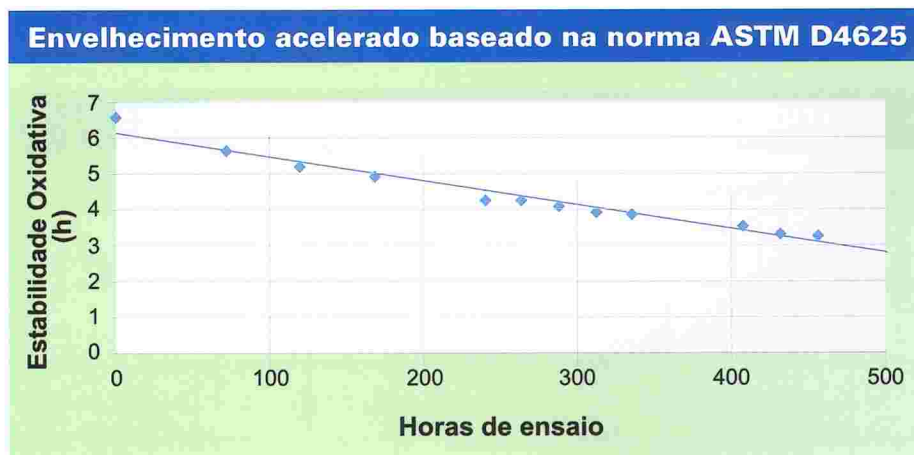
O biodiesel foi submetido a um processo de envelhecimento acelerado no Laboratório de Corrosão e Proteção do INT (Lacor). Este procedimento foi conduzido de acordo com a norma ASTM D 4625, que consiste essencialmente em expor o biodiesel à temperatura de 43°C, em frascos tipo erlenmeyer. Antes de iniciar o processo de degradação acelerada em laboratório, o mesmo teve sua estabilidade oxidativa determinada através do método de ensaio de oxidação acelerada EN 14112, também conhecido como método Rancimat.

O biodiesel (B100) utilizado no teste apresentou um índice de estabilidade oxidativa de 6,56 horas. Cabe ressaltar que o citado índice, denominado de período de indução (PI), reflete a tendência à oxidação do biodiesel, sendo comumente aceito pelo mercado um valor de no mínimo 6 horas para que o mesmo seja considerado de acordo com a Resolução ANP 07/2008.

O biodiesel foi mantido a uma temperatura de 43°C por 500 horas (ASTM 4625). Ao final deste período, o biodiesel foi submetido a ensaio de acordo com a norma EN 14112 supracitada, indicando um índice de estabilidade oxidativa de 3,04 horas. Ou seja, passamos a ter um biodiesel intensamente oxidado (envelhecido), em desacordo, portanto com a especificação brasileira (Resolução ANP 07/2008), conforme ilustrado a seguir:

A Figura 146 apresenta o perfil de monitoramento do envelhecimento acelerado do biodiesel de acordo com ASTM D4625 – Resultados Ensaio PREN 14112 (Rancimat).

Figura 146: Curvas de estabilidade do biodiesel



Foi também monitorada a progressão do envelhecimento da mistura B5 por oxidação natural. No caso de misturas Bx, a avaliação da estabilidade oxidativa de misturas diesel/biodiesel dá-se através do teste Rancimat levemente modificado, em termos de dimensões da vidraria utilizada. O mesmo é regido pela norma EN 15751.

A Tabela 36 apresenta os resultados obtidos no envelhecimento progressivo da mistura ao longo do tempo.

Tabela 36: Dados de estabilidade da mistura B5

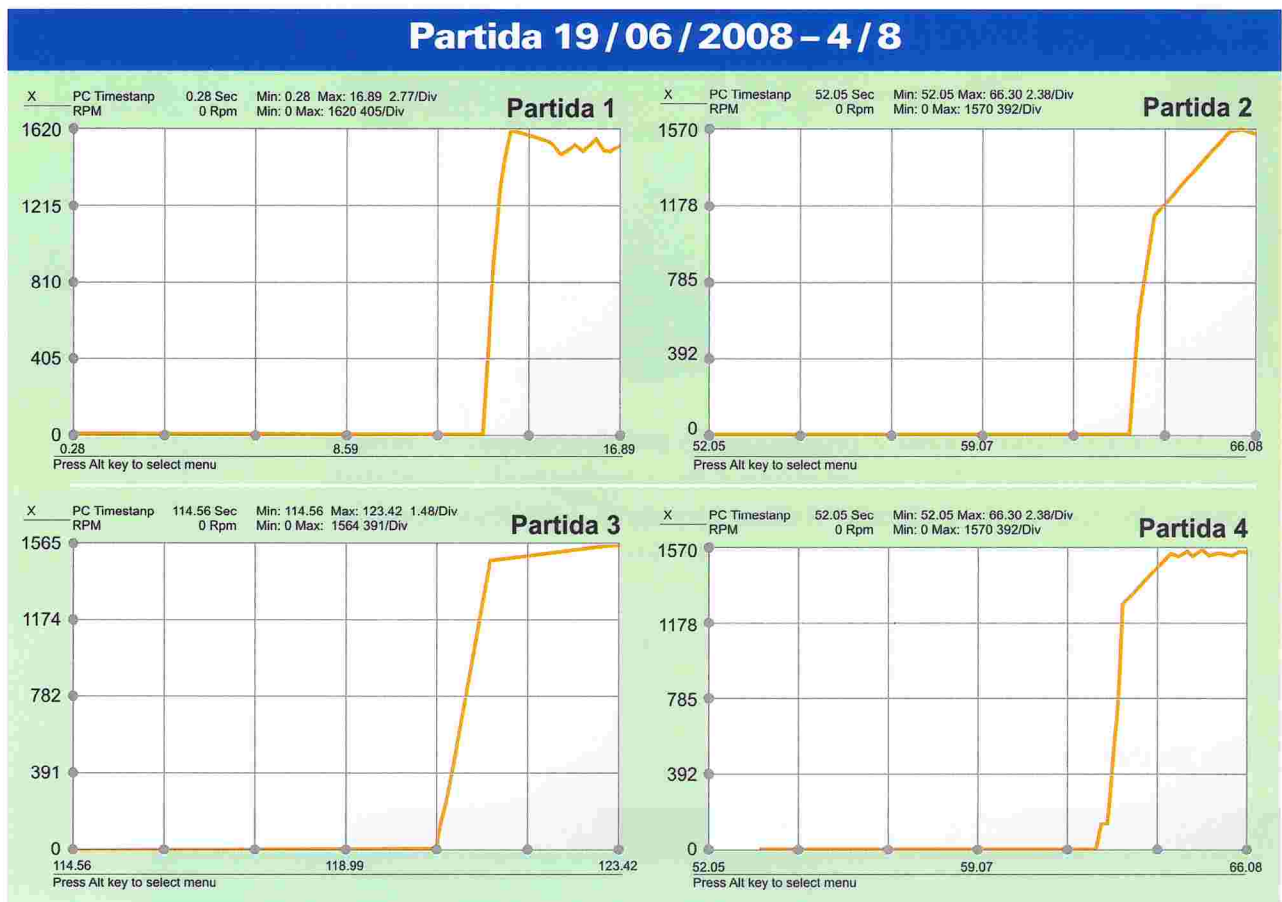
Amostra	Período de Indução (h)
B5 em 06/2008/ 1ª partida	>25
B5 em 09/2008/ 2ª partida	7,86
B5 em 10/2008/ 3ª partida	7,13
B5 em 12/2008/ 4ª partida	6,53

Com efeito, observou-se que o procedimento foi capaz de envelhecer a mistura B5 a ponto de torná-la extremamente oxidada.

c – Resultados

De junho a dezembro de 2008 foram realizados quatro testes (oito partidas seguidas em cada oportunidade), sempre com a presença de técnicos do INT. O intervalo entre as partidas nunca foi inferior a um mês. Em todas as oportunidades, o motor funcionou sem problemas em um tempo inferior a 4 segundos, na primeira tentativa. As partidas se deram nas seguintes datas: 19 de junho, 1º de setembro, 17 de outubro e 17 de dezembro de 2008. Seguem, na Figura 147, os gráficos de duas partidas realizadas.

Figura 147: Curvas de partida do motor



A temperatura e a umidade relativa também foram monitoradas ao longo do tempo e nota-se uma variação muito grande nas condições a que foram submetidos o motor e o combustível. Mesmo assim, o gerador

partiu sem problemas. Os resultados do estágio de degradação da mistura B5 demonstraram que, não obstante o grau de envelhecimento observado da mistura, o mesmo não impediu o funcionamento adequado da partida do motor.

A curva de dosagem da bomba apresentou uma pequena variação, porém em região fora de utilização do equipamento.

Tanto a bomba injetora, injetores e filtros foram testados; tiveram seus dados registrados e seus principais componentes fotografados e comparados com os registros após o teste (Figuras 149, 150 e 151), não tendo sido observadas quaisquer irregularidades com os componentes, antes ou depois do teste.

Uma vez que a mistura não se decompôs a ponto de gerar resíduos no interior da bomba, esta nada sofreu. Cabe considerar que a bomba injetora não funcionou, mesmo após os seis meses de ensaio, por mais de 10 horas, o que é muito baixo para um sistema projetado para trabalhar sem problemas por mais de 2.000 horas.

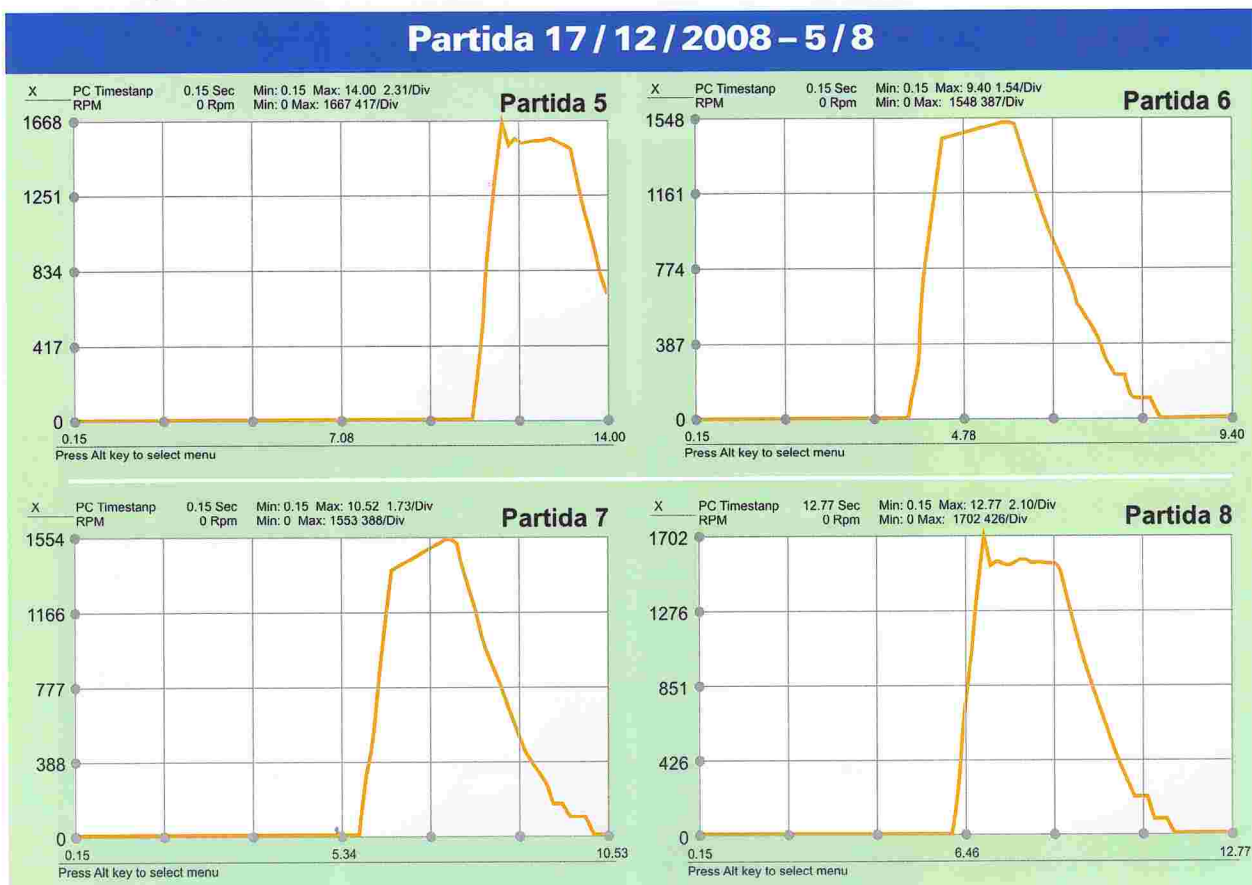


Figura 149: Aspecto das peças da bomba injetora antes e depois do ensaio

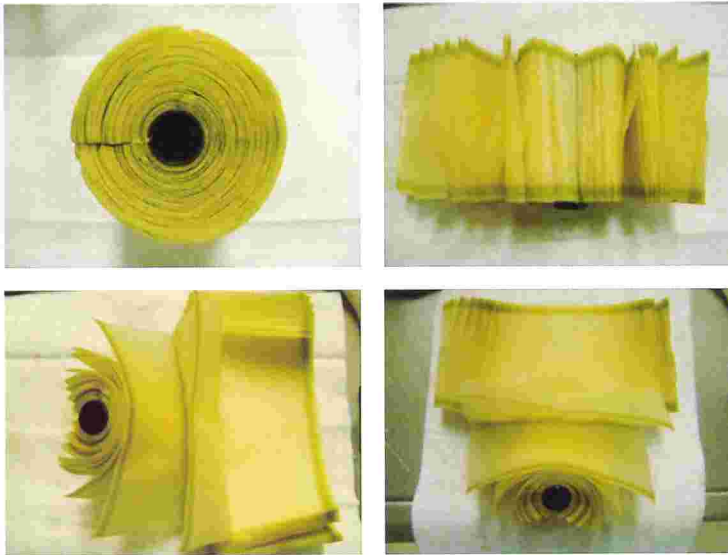


Figura 150: Aspecto dos bicos injetores de combustível antes e depois do ensaio



Figura 151: Aspecto do filtro de combustível antes e depois do ensaio

Filtro aberto depois do Ensaio



d – Conclusões

Foi possível desenvolver uma metodologia capaz de produzir misturas B5 envelhecidas em campo, partindo-se de biodiesel artificialmente envelhecido em laboratório.

Havia a expectativa, que motivou o teste, de que o motor, depois de um período longo sem funcionar, poderia ter problemas de partida em decorrência da degradação do biodiesel. A degradação poderia associar-se a ataque corrosivo e gerar a quebra do sistema de injeção, entupimento do filtro, ou mesmo induzir reação com o diesel, resultando em produto sem qualidade para a queima ou outro problema comumente associado a biodiesel fora da especificação. Nenhuma dessas possibilidades ocorreu no presente conjunto de testes e o motor partiu sem problemas, em tempo considerado normal.

Não foram verificados qualquer ataque ou alteração significativa nos componentes da bomba injetora, tanque, tubulação ou filtros que permaneceram por seis meses em contato com a mistura B5 contaminada por biodiesel degradado.

13. Referências Bibliográficas

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural**. Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

ANDRADE, Edilson Bernardim. **Avaliação da influência do Combustível Biodiesel B5 – Base Ésteres Metílicos de Óleos de Soja e Mamona em Motores Eletrônicos Scania**. Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar), Curitiba, Paraná, Brasil, 2008.

ANDRADE, Edilson Bernardim. **O Biodiesel em Observações Experimentais**. Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar), Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Combustíveis Alternativos (Probiodiesel), Curitiba, Paraná, Brasil, 2009.

ANDRADE FILHO, Miguel. **Teste de Biodiesel (B5) em Veículos Ford Ranger**. Universidade Salvador (Unifacs), Salvador, Bahia, Brasil, 2008.

CAVALCANTI, Eduardo Homem Siqueira; PIMENTA, Vicente Alves. **Ensaio de Partida em Motor com Mistura B5 Envelhecida**. Instituto Nacional de Tecnologia (INT), Delphi Diesel Systems, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

DABDOUB, Miguel Joaquim. **Avaliação da Influência do Combustível Biodiesel B5 em Motores equipados com Bomba Rotativa**. Parecer Técnico. Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (Ladétel), Universidade de São Paulo (USP), Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, 2007.

DABDOUB, Miguel Joaquim. **Avaliação da Influência do Combustível Biodiesel B5 em Trator Valtra com Motores equipados com Bomba Rotativa**. Parecer Técnico. Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (Ladétel), Universidade de São Paulo (USP), Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, 2007.

DABDOUB, Miguel Joaquim. **Teste do Uso de Biodiesel (B30) em Veículos de Passageiros das marcas Peugeot e Citroën.** Parecer Técnico. Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (Ladétel), Universidade de São Paulo (USP), Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, 2008.

DABDOUB, Miguel Joaquim. **Teste do Uso de Biodiesel (B5 até B100) em Máquinas Off-Road da marca Caterpillar na Frota da Mineração Rio Paracatu.** Parecer Técnico. Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (Ladétel), Universidade de São Paulo (USP), Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, 2007.

Energy Information Administration (EIA). "International Energy Outlook 2009 - world energy demand and economic outlook". Disponível em: < www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html >. Acesso em: 13 out. 2009.

LAURINDO, José Carlos; PESSUTI, Bruno Eduardo Fischer; REMPEL, Denis. **Características de Desempenho e Emissões de Gases de um Motor Diesel Operando com Biodiesel e Misturas.** Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar), Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec), Curitiba, Paraná, Brasil, 2009.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanco Energético Nacional 2008: ano base 2007.** Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

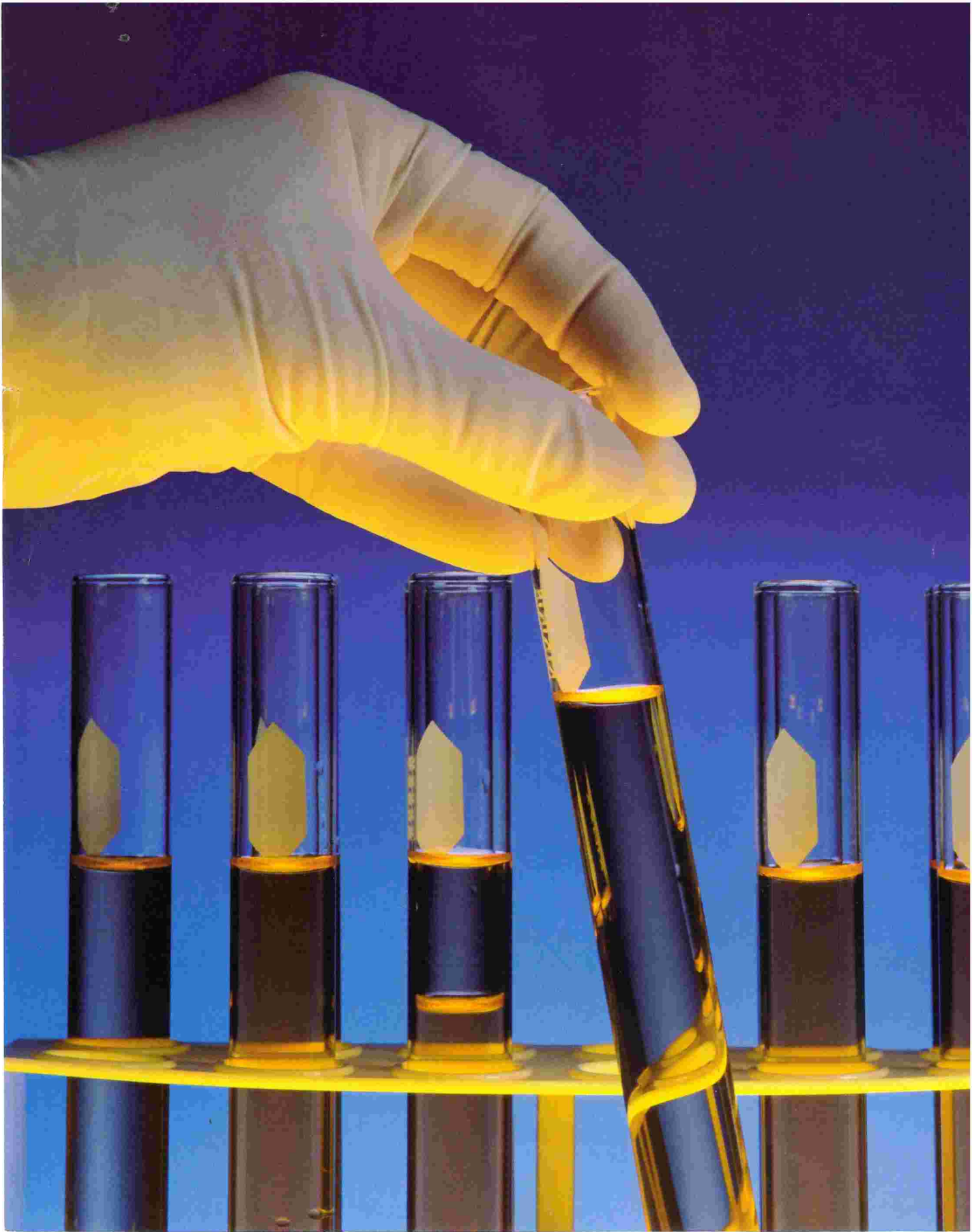
Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanco Energético Nacional 2009:** ano base 2008. Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, EPE, 2008.

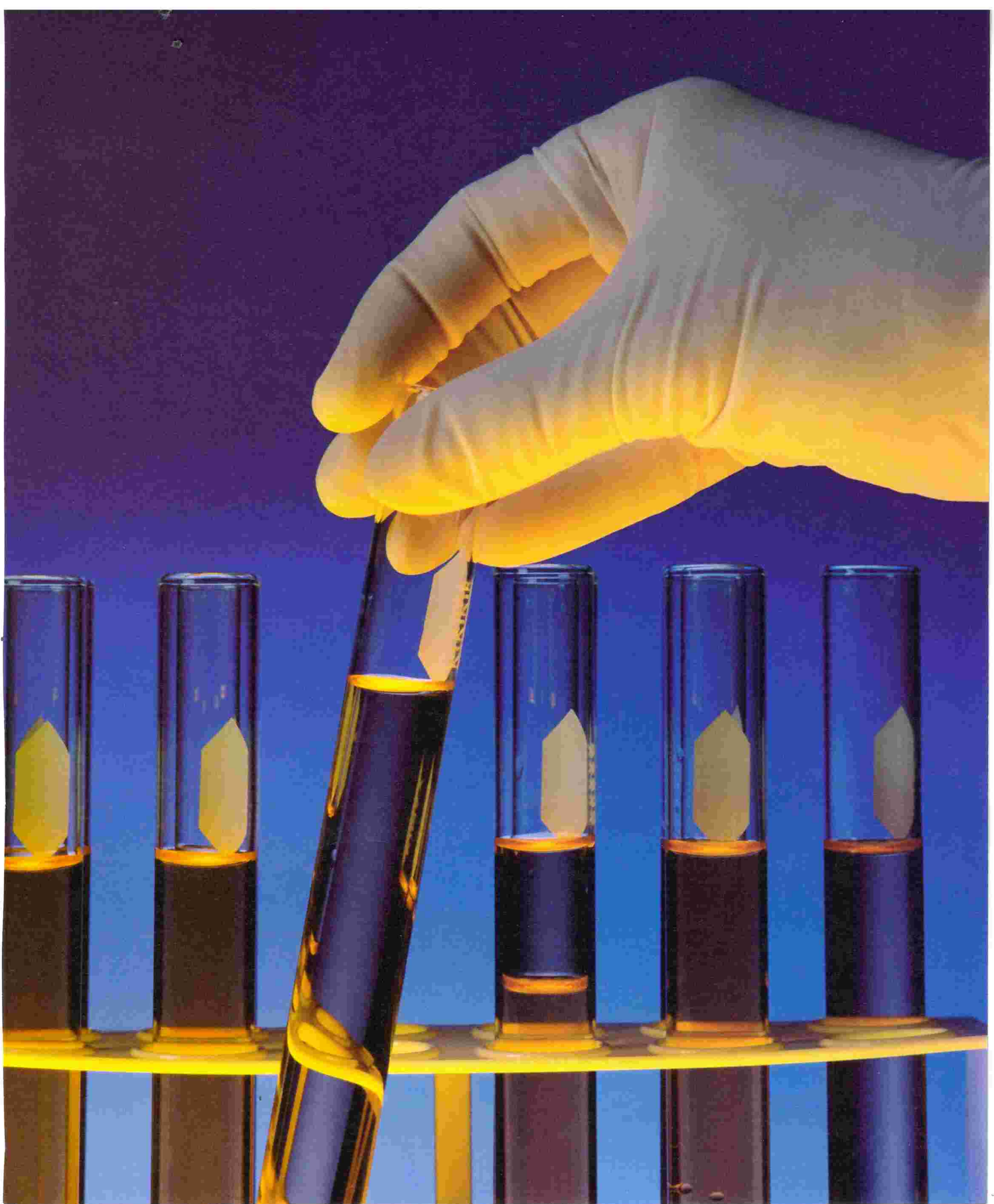
Ministério de Minas e Energia (MME) / Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis (SPG) / Departamento de Combustíveis Renováveis (DCR). **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis.** Edição nº 20, agosto de 2009.

NIGRO, Francisco Emílio Baccaro; TRIELLI, Maurício Assumpção. **Características das Emissões de um Motor Diesel Operando com Biodiesel e Misturas.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, Brasil, 2007.

PEREIRA, Maurício. **Avaliação da Influência do Combustível Biodiesel B5 – Éster Metílico de Soja em Motor Eletrônico Mercedes-Benz.** Relatório Técnico. Mercedes-Benz do Brasil Ltda., São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil, 2008.

RIBEIRO, Suzana Kahn. **Implantação do Módulo Tecnológico do Programa RioBiodiesel na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro.** Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) / Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (Coppe), Rio de Janeiro, Brasil, 2006.







**Ministério da Ciência e Tecnologia
Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**

**Esplanada dos Ministérios, Bloco E, 3º andar
CEP: 70067-900 – Brasília – DF
Telefone: (61) 3317-7800
E-mail: setec@mct.gov.br
www.mct.gov.br/setec**

**Ministério da
Ciência e Tecnologia**

