

Gabinete da Ministra

Coordenação-Geral de Apoio às Câmaras Setoriais e Temáticas
Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel



Usos de **BIODIESEL** no Brasil e no Mundo

1ª Edição

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Gabinete da Ministra
Coordenação-Geral de Apoio às Câmaras Setoriais e Temáticas – CGAC
Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel

Usos de
BIODIESEL
no Brasil e no Mundo
1ª Edição

Brasília - Mapa
2015

© 2015 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
Todos os direitos reservados. Permitida a reprodução desde que citada a fonte.
A responsabilidade pelos direitos autorais de textos e imagens desta obra é do autor.

Ministra da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Kátia Regina de Abreu

Presidente da Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel
Odacir Klein/ Pedro Ferreira Granja Jr.

Desenvolvimento técnico
Leonardo Botelho Zilio – coordenador (ABIOVE)
José Honório Accarini – relator (Casa Civil da Presidência da República)
Antonio Carlos Ventili Marques (APROBIO)
Daniel Furlan Amaral (ABIOVE)
Donato Aranda (UBRABIO)
Donizete Tokarski (UBRABIO)
Eduardo Soriano Lousada (MCTI)
Fillipe Augusto da Costa Garcia (ANP)
Gabriela Menezes (MAPA)
Gustavo de Lima Ramos (MCTI)
Isabel Regina Carneiro (MAPA)
João da Silva Abreu Neto (MAPA)
João Norberto Noschang Neto (Petrobras Biocombustível)
Julio Cesar Minelli (APROBIO)
Mário Augusto de Campos Cardoso (CNI)
Rafael Silva Menezes (MCTI)
Sergio Tadeu Cabral Beltrão (UBRABIO)
Tiago Quintela Giuliani (MAPA)

Usos de Biodiesel no Brasil e no Mundo – 1ª Edição
Relatório apresentado à Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel em junho de 2015.
Brasília, 2015.

Editoração: Assessoria de Comunicação e Eventos
Créditos das imagens: *Capa: Alexandr Dubovitskiy/Thinkstock. Miolo: Mapa/Thinkstock; Sílvio Ávila/Mapa; ABIOVE; Grupo André Maggi.*

Catálogo na Fonte
Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
Usos de biodiesel no Brasil e no mundo / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
Gabinete da Ministra.
– Brasília : Mapa/ACE, 2015.
38 p.

ISBN 978-85-7991-098-2

1. Combustível. 2. Biodiesel. 3. Agricultura. I. Gabinete da ministra. II. Série.

AGRI P06
CDU 662.7

Sumário

Lista de siglas	6
Sumário Executivo	7
1 Introdução	9
2 Frota brasileira: ciclo diesel	11
3 Especificações do diesel e do biodiesel no Brasil e no mundo	13
4 Experiências, testes e usos de biodiesel em “misturas elevadas” no Brasil e no Mundo	17
4.1 Consumo de combustível	21
4.1.1 <i>Brasil</i>	21
4.1.2 <i>Mundo</i>	21
4.2 Emissões	22
4.2.1 <i>Brasil</i>	22
4.2.2 <i>Mundo</i>	22
4.3 Partida a frio	23
4.3.1 <i>Brasil</i>	23
4.3.2 <i>Mundo</i>	23
4.4 Potência e desempenho	24
4.4.1 <i>Brasil</i>	24
4.4.2 <i>Mundo</i>	24
4.5 Durabilidade e desgaste de componentes	25
4.5.1 <i>Brasil</i>	25
4.5.2 <i>Mundo</i>	25
5 Resumo dos resultados	27
6 Considerações finais	33
Referências	35
Anexo I – Matriz de análise utilizada	38

Lista de siglas

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BX	Terminologia que designa o percentual de biodiesel misturado ao diesel A
CARB	California Air Resources Board
CEN	European Committee for Standardization
CFPP	Ponto de Entupimento de Filtro a Frio, sigla em inglês
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSHVC	City-Suburban Heavy-Vehiclecycle
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, sigla em inglês
FAME	Éster Metílico de Ácido Graxo, sigla em inglês
FETRANSPOR	Federação das Empresas de Transporte de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro
GT	Grupo de Trabalho
NCD	Número de Cetano Derivado
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
S-10/S-500	Designação do teor de enxofre (S) contido no diesel mineral
URBS	Companhia de Urbanização e Saneamento de Curitiba

Sumário Executivo

Este relatório resume os resultados do Grupo de Trabalho (GT) criado na 21ª reunião ordinária da Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel, realizada em 11 de novembro de 2014, com o propósito de identificar e consolidar informações sobre resultados de testes e experiências com diferentes misturas de biodiesel ao diesel mineral, no Brasil e no Mundo.

Formado por adesão, o GT contou com representantes de órgãos e entidades públicos (CC/PR, MAPA, MCTI, Petrobras Biocombustível e ANP) e privados (ABIOVE, APROBIO, CNI e UBRABIO). Depois de apresentar uma visão geral da frota brasileira equipada com motores do ciclo diesel, da ordem 4 milhões de veículos, em 2014, dos quais cerca de 60% classificada nas fases P5 e P7 do PROCONVE, o relatório aborda a especificação de biodiesel adotada no Brasil, mostrando que a mesma é compatível com as vigentes no mundo, especialmente nos Estados Unidos da América e na Europa, sendo, inclusive, mais rigorosa em alguns parâmetros, especialmente quanto ao teor de água.

Apoiado numa matriz de análise, foram resumidos 57 trabalhos sobre o tema, abrangendo impactos de misturas iguais ou superiores a 10% de biodiesel ao diesel fóssil – denominadas misturas elevadas – sobre itens básicos, considerados importantes, a saber: consumo de combustível; emissões; partida a frio; potência e desempenho do motor; e durabilidade e desgaste de componentes.

De modo geral, os benefícios e desvantagens do uso de misturas elevadas de biodiesel ficaram dentro do esperado (todas quantificadas), embora alguns trabalhos tenham obtido resultados diferentes do comportamento médio, como a redução do consumo de combustível e da emissão de óxidos de nitrogênio (NOx). No tocante à partida a frio; à potência e desempenho do motor; e à durabilidade e ao desgaste de componentes, os resultados de modo geral mostram que o uso de misturas elevadas não traz impactos significativos nesses itens.

Nas considerações finais, o relatório registra que a adoção de procedimentos e cuidados voltados à manutenção da especificação do biodiesel e o avanço tecnológico no uso de materiais mais adequados ao contato com o biodiesel tendem, progressivamente, a evitar problemas no uso do biocombustível, qualquer que seja o teor da mistura diesel-biodiesel utilizada.



Introdução

A Medida Provisória nº 647/2014, convertida na Lei 13.033/2014, elevou o percentual de mistura compulsória de biodiesel no diesel B para 7%. Este patamar vigora em todo o território nacional desde 1º de novembro de 2014. Não obstante o Brasil possuir um mercado compulsório robusto e devidamente regulado, no qual se estima serem produzidos e consumidos mais de quatro bilhões de litros de biodiesel no ano de 2015, há disposição legal para que outros teores de mistura sejam utilizados. Desta forma, observa-se que é possível, dentro de circunstâncias específicas e controladas, fazer-se uso de percentuais variados de biodiesel no diesel B, tais como 20% (B20), 30% (B30), 50% (B50) ou mesmo 100% (B100). No restante do mundo esta realidade não é diferente, haja vista encontrar-se testes e usos com diferentes percentuais de biodiesel em vários países.

O propósito do presente documento foi o de coletar e sistematizar informações acerca de usos de biodiesel no Brasil e no mundo, especificamente àqueles de BX elevados (de agora em diante definidas como “misturas elevadas”), ou seja, iguais ou superiores a 10%. Para tanto, foram consultadas diversas bases de dados – como editoras de periódicos revisados por pares, instituições privadas e governamentais de âmbito internacional – em busca de testes, experimentos e artigos científicos relacionados ao uso de misturas elevadas de biodiesel ao longo das últimas décadas.

O Grupo de Trabalho ora composto prezou pela busca de dados e informações robustas, oriundas de fontes confiáveis e cuja representatividade se acredita aplicar-se à atual realidade doméstica. Não foram descartados, entretanto, documentos das décadas de 1980 ou 1990. Embora a tecnologia automotiva e a qualidade dos combustíveis dessas épocas tendam a divergir, por vezes significativamente, dos padrões atuais, acredita-se que a incorporação dessas informações enriquece o estudo, trazendo para dentro do mesmo uma caracterização e evolução histórica importantes para o bom entendimento dos desafios e oportunidades atuais.

Não obstante, observou-se também que o uso do biodiesel em misturas elevadas é uma prática comum para muitos gestores de frotas, muito embora os resultados de tais testes raramente sejam publicados.

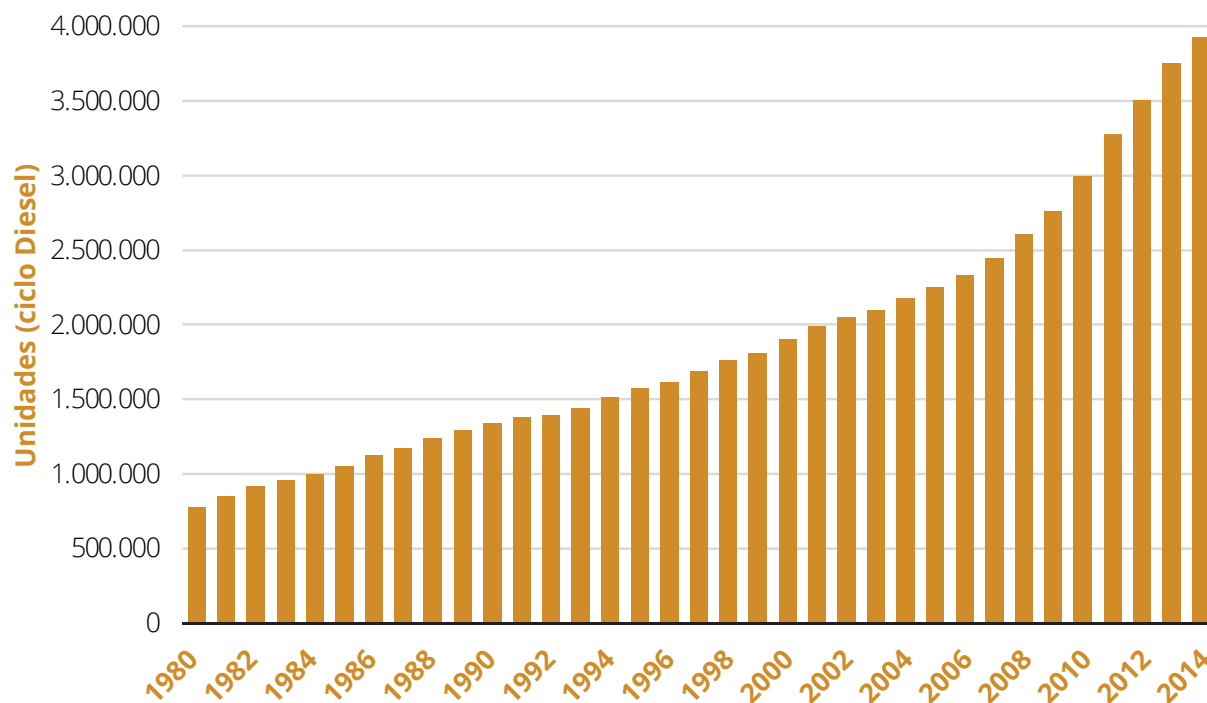
Por fim, espera-se que o conteúdo aqui exposto possa contribuir para as discussões sobre o uso do biodiesel como combustível carburante e sirva de apoio a pesquisadores, usuários e tomadores de decisão.



Frota brasileira: ciclo diesel

De acordo com MMA (2014), em 2012 circulavam cerca de 3,5 milhões de veículos de ciclo diesel no Brasil. Ainda, conforme dados do DENATRAN, entre 2013 e 2014 aproximadamente 700 mil novos veículos dessa categoria foram licenciados no país. Contabilizando o sucateamento da frota, estima-se que atualmente estejam em circulação quatro milhões de veículos de ciclo diesel, sendo que mais da metade desses iniciaram sua vida útil após o ano 2000.

Figura 1: Evolução da frota estimada de veículos do ciclo Diesel no Brasil



Fonte: MMA (2014) e DENATRAN

Não obstante, MMA (2014) aborda ainda a disposição da frota conforme fase do PROCONVE¹. Em 2012, último ano cujos valores encontram-se disponíveis, 50% da frota nacional a diesel pertencia às fases P5 e P7 do PROCONVE; 21% à fase P4; 9% à fase P3; 10% à fase P2 e 10% à fase P1 ou P0. Dada a evolução do sucateamento e novos licenciamentos, estima-se que em 2014 cerca de 60% da frota encontrava-se classificada nas fases P5 e P7 do Programa.

¹ No Brasil, os limites para as emissões foram criados em 1986 pelo Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), que definiu limites para as emissões dos veículos diesel. Atualmente, os limites de emissões são definidos em função da capacidade de carga dos veículos. Os veículos pesados seguem a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 403/08. As emissões regulamentadas são: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não metano (NMHC), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP).



Especificações do diesel e do biodiesel no Brasil e no mundo

Atualmente, quando comparadas as especificações do biodiesel produzido no Brasil, nos EUA, na União Europeia e no Canadá, constatam-se apenas pequenas diferenças.

A especificação brasileira (Resolução ANP nº 45/2014) é a mais exigente no que diz respeito ao teor de água. Os 200 mg/kg adotados no Brasil são cerca de metade do que se tolera no resto do mundo, exigência que se faz necessária, por exemplo, devido às particularidades logísticas do extenso território nacional. Vale salientar que a higroscopicidade elevada do biodiesel exigiu investimentos nas fábricas brasileiras, não apenas para a obtenção de biodiesel abaixo desse teor, mas, também, para mantê-lo durante o transporte e armazenagem. Atualmente, vigoram critérios de tolerância distintos para o produtor de biodiesel e distribuidor de combustíveis em ações de fiscalização.

O Canadá é sensivelmente mais exigente quanto aos resíduos de metais alcalinos, metais alcalinos terrosos e fósforo. A União Europeia possui algumas análises específicas como "teor de éster linolênico" e "teor de ésteres poliinsaturados". Tais análises são mais restritivas quanto à matéria-prima do que quanto ao processo, estando relacionadas à estabilidade oxidativa do biodiesel – parâmetro que se encontra na especificação do biodiesel nacional, inclusive com o mesmo valor que a norma europeia. Cabe ressaltar que no Brasil não se utilizam matérias-primas que possuem concentrações elevadas de ácidos linolênicos, ou em proporções que poderiam gerar problemas de compatibilidade com o mercado europeu.

Existem também algumas especificações distintas quanto às propriedades relacionadas ao frio, tais como o Ponto de Entupimento de Filtro a Frio (CFPP, na sigla em inglês), o ponto de fluidez e o ponto de névoa. Esses parâmetros estão relacionados às especificidades dos invernos de cada país. Nos mercados norte-americano e canadense, os parâmetros de fluidez a frio constam como 'anotar', já que a dinâmica dos mesmos se baseia em acordo entre produtor e comprador, considerando as aplicações propostas, adição de aditivos na distribuição ou uso de instalações que tenham dispositivos que permitam manter a temperatura do biodiesel acima da temperatura ambiente e em condições adequadas.

Uma comparação entre a especificação brasileira e a especificação dos EUA mostra exigência significativamente maior quanto à estabilidade oxidativa e ao teor de água domésticos, havendo grande semelhança nos demais parâmetros. Isso demonstra o nível elevado de qualidade adotado pela especificação de biodiesel no Brasil.

Tabela 1: Especificação do biodiesel no Brasil e no mundo

		Brasil	Estados Unidos	União Europeia	Canadá
Instrumento Normativo		Resolução ANP 45/2014	ASTM D6751-15	EN14214:2012	CAN/CGSB-3524-2011
Denominação		B100	Grade 1-B e 2-Bd	FAME	B100
Ano de implementação		2014	2015	2014	2011g
Parâmetros	Unidade				
Aspecto	-	L1a	-	-	-
Massa específica a 15°C, min. - máx.	kg/m ³	850-900 (20°C)	-	860 - 900	Anotar
Viscosidade cinemática a 40°C, min. - máx.	mm ² /s	3,0 - 6,0	1,9 - 6,0	3,5 - 5,0	1,9 - 6,0
Água e sedimentos, máx.	%vol	-	0,05	-	-
Teor de água, máx.	mg/kg	200b	-	500	400
Contaminação total, máx.	mg/kg	24	-	24	-
Ponto de fulgor	°C	100	93	101	130
Temperatura Destilação 90% recuperado, máx	°C	-	360	-	-
Teor de éster	%massa	96,5	-	96,5	-
Teor de éster linolênico	%massa	-	-	12,0	-
Teor de ésteres poliinsaturados	%massa	-	-	1,0	-
Resíduo de carbono, máx.	%massa	-	0,05	-	0,05
Cinzas sulfatadas, máx.	%massa	0,02	0,02	0,02	-
Enxofre total, máx.	mg/kg	10	15 / 500	10	Anotar
Teor de Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	5	5,0	4
Teor de Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	5	5,0	2
Teor de fósforo, máx.	mg/kg	10	10	4,0	4
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C	Grau	1	3	1	-
Número de cetano	-	Anotar	47	51	Anotar
Ponto de entupimento a frio, máx.	°C	c	-	f	-
Ponto de névoa	°C	-	Anotar	-	Anotar
Filtrabilidade a frio	s	-	d	-	-
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,5	0,5	0,5	0,5
Glicerina livre, máx.	%massa	0,02	0,02	0,02	0,02
Glicerina total, máx.	%massa	0,25	0,24	0,25	0,24
Monoglicerídeos, máx.	%massa	0,7	0,4/ -d	0,7	-
Diglicerídeos, máx.	%massa	0,2	-	0,2	-
Triglicerídeos, máx.	%massa	0,2	-	0,2	-
Metanol / Etanol, máx.	%massa	0,2	0,2e	0,2	0,20
Índice de iodo, máx	g de I ₂ /100g	Anotar	-	120	-
Estabilidade à oxidação a 110°C, min.	Horas	8	3	8	8

a. O B100 somente poderá ser considerado não conforme após avaliação do teor de água e contaminação total.

b. Para fins de Fiscalização são adotados os seguintes valores: 250 e 350 mg/kg para o produtor e distribuidor, respectivamente.

c. Por possuir grande variação regional são adotados limites diferenciados por estado ao longo do ano (Tabela II da RANP 45/2014).

d. A ASTM D6571 estabelece que o Grade 1B deve apresentar filtrabilidade a frio (ASTM D7501) de 200 e teor máximo de monoglicerídeos (ASTM D6584) de 0,4%. Já o Grade 2B deve apresentar 360 para o ensaio de filtrabilidade a frio e sem limite máximo para monoglicerídeos.

e. Se a amostra apresentar ponto de fulgor superior a 130°C não é necessário realizar o ensaio de teor de metanol/etanol.

f. Tendo em vista a utilização do FAME em uma ampla faixa de temperaturas dentro da União Europeia, a CEN estabeleceu seis especificações de fluidez a frio (Grade A - F) com valores de ponto de entupimento a frio variando de +5 a -20, respectivamente. Para utilizações em climas árticos são definidos adicionalmente as classes 0 - 4 que devem apresentar valores variando de -20 a -44°C, respectivamente.

g. A norma que estabelece a especificação do B100 no Canadá (CGSB CAN/CGSB-3.524) sofreu uma revisão em 2014. No entanto, a ANP não possui acesso a esta versão da norma, por isso foram reportados dados referentes a versão de 2011.

Tabela 2: Especificação do diesel no Brasil e no mundo

		Brasil	Estados Unidos	União Europeia	Canadá
Instrumento Normativo		Resolução ANP 50/2013	ASTM D975-15	EN590:2013	CANCGSB-3520-2011
Denominação		S10/ S500	1-D / 2-D	Temperado / Ártico	Tipo A/ Tipo B
Ano de implementação/Revisão		2014	2015	2014	2011
Parâmetros	Unidade				
Aspecto	-	LII	-	-	-
Cor	-	a / Vermelho	-	-	-
Cor ASTM, máx.	-	3,0	-	-	-
Teor de Biodiesel	%vol	7,0	5,0	7,0	1,0 – 5,0
Destilação					
10% vol, recuperados, máx.	°C	180,0 / Anotar	-	-	-
50% vol, recuperados, máx.	°C	245,0 – 295,0 / 245,0 – 310,0	-	-	-
85% vol, recuperados, máx.	°C	360,0 (S500)	-	350	-
90% vol, recuperados, máx.	°C	Anotar (S500)	288 / 282 – 338i	-	290 / 360
95% vol, recuperados, máx.	°C	370,0 (S10)	-	360	-
Massa específica a 15°C, min. - máx.	kg/m3	815,0 - 850,0 / 815,0 – 865,0 (20°C)	-	820,0 – 845,0/ 800,0-840,0	-
Viscosidade cinemática a 40°C, min. - máx.	mm2/s	2,0 – 4,5 / 2,0 – 5,0	1,3 -2,4 / 1,9 – 4,1i	2,0 – 4,5 / 1,2 – 4,0	1,3 – 3,6 / 1,7 – 4,1
Água e sedimentos, máx.	%vol	0,05 (S500)b	0,05	-	0,02
Teor de água, máx.	mg/kg	200 / 500c	-	200	-
Contaminação total, máx.	mg/kg	24 (S10)b	-	-	-
Ponto de fulgor	°C	38,0	38 / 52i	55,0	40
Resíduo de carbono Ramsbottom nos 10% final da destilação, máx.	%massa	0,25	0,15 / 0,35	0,30	0,1 / 0,2
Cinzas, máx.	%massa	0,01	0,01	0,01	0,01
Enxofre total, máx.	mg/kg	10d / 500	15	10	15
Aromáticos totais, máx	%massa	-	35h	-	-
Poliaromáticos, máx	%massa	-	-	8,0	-
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C	Grau	1	-	-	-
Número de cetano ou Número de cetano derivado (NCD), mín	-	48 / 42	40h	51,0 / 47,0 – 49,0	40
Índice de cetano, min	-	-	-	46,0 / 43,0 -46,0	-
Ponto de entupimento a frio, máx.	°C	e	-	5 a -20/ -20 a -44j	-
Ponto de névoa, máx.	°C	-	i	-10 a -34°C (Ártico)	Anotar
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	Anotar	-	-	-
Lubricidade, máx	µm	460f	520	460	460
Condutividade elétrica, mín.	pS/m	25g	-	-	-
Estabilidade à oxidação, máx.	mg/100mL	2,5	-	-	-

a. Usualmente de incolor a amarelada, podendo apresentar-se ligeiramente alterada para as tonalidades marrom e alaranjada devido à adição de biodiesel.

b. Aplicável na importação.

c. Os limites se aplicam na distribuição.

d. Será admitida uma tolerância de 5 mg/kg no limite especificado para fins de fiscalização.

e. Por possuir grande variação regional são adotados limites diferenciados por estado ao longo do ano (Tabela II da RANP 50/2013).

f. O limite especificado refere-se ao resultado obtido pela norma ISO 12156. Caso seja utilizada a ASTM D6079 deve-se adotar o limite de 520 µm.

g. A análise da condutividade do óleo Diesel S500 deve ser feita após adição de aditivo antiestático e do corante no teor de 20 mg/kg.

h. O Diesel 1-D/2-D deve atender o número de cetano mínimo ou o teor de hidrocarbonetos totais.

i. Quando o ponto de névoa menor que -12°C é especificado permite-se a combinação dos grades 1-D e 2-D. Para estes casos são utilizados os limites de 38°C para o ponto de fulgor e 1,77 cSt a 40° não sendo aplicado os limites para o T90.

j. A CEN estipulou Grades de A – F para o Diesel de uso em clima temperado e de 0 – 4 para o Diesel de uso em climas severos e ártico.



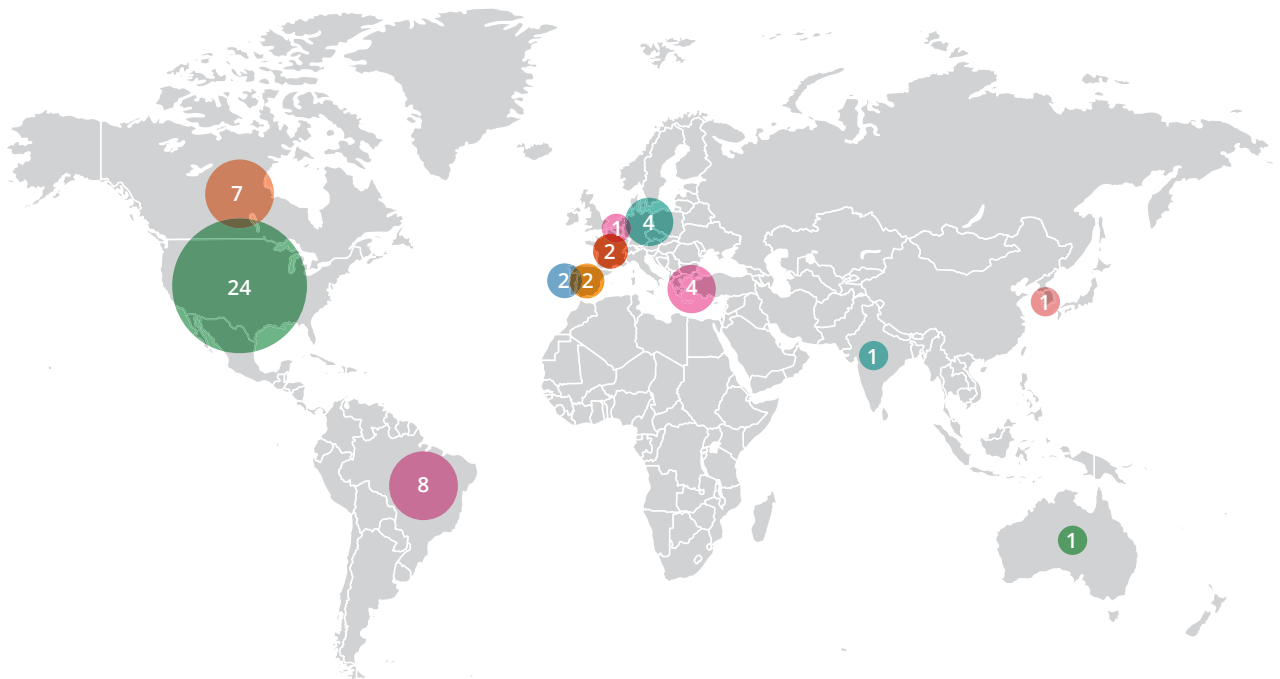
Experiências, testes e usos de biodiesel em “misturas elevadas” no Brasil e no mundo

Uma extensa gama de estudos que abordam os mais diversos aspectos do uso do biodiesel em misturas com o diesel mineral encontra-se disponível nas literaturas nacional e internacional. Os trabalhos apresentam análises que levam em consideração o biodiesel em diferentes misturas (BX), aplicadas em diversos motores (ônibus, caminhões, testes de bancada, locomotivas, máquinas e equipamentos, dentre outros), produzidos a partir de distintas matérias-primas (óleos de soja, colza, canola, girassol, milho, palma, gorduras animais e óleos residuais), ao longo de um expressivo período de tempo e nas mais distintas circunstâncias de uso, armazenagem e distribuição.

A sistematização de um número tão grande de informações procedeu do uso de matrizes de análise (Anexo I), as quais buscaram extrair, de cada um dos estudos contemplados no presente documento, os dados técnicos de maior relevância.

Ao todo, 57 estudos, testes e análises fizeram parte do escopo desse documento. Suas origens derivam-se de 12 diferentes países, sendo eles: EUA (24), Brasil (8), Canadá (7), Alemanha (4), Grécia (4), França (2), Portugal (2), Espanha (2), Bélgica (1), Austrália (1), Índia (1) e Coréia do Sul (1). Em termos continentais, resultaram 31 estudos da América do Norte, 15 da Europa, 8 da América do Sul, dois da Ásia e um da Oceania.

Figura 2: Distribuição geográfica dos estudos contemplados



Dentre as obras expostas neste capítulo, MIC (1985) apresenta amplo ciclo de testes realizado pelas empresas Mercedes Benz do Brasil, Saab Scania do Brasil, Caterpillar Brasil, Cummins do Brasil, Volvo do Brasil, Fiat do Diesel Brasil, MWM Motores Diesel e Massey Perkins. A rodagem total superou 865 mil quilômetros, sendo avaliados itens como entupimento de bicos-injetores, dirigibilidade, desempenho, consumo de combustível e custos de manutenção para a utilização do B30 (mistura 70% diesel/30% éster metílico) ou, em alguns casos, do B100.

Schumacher e Madzura (1994) comparam os parâmetros consumo de combustível, emissões, custos de manutenção e alterações no óleo lubrificante entre 10 ônibus urbanos nos Estados Unidos. Durante 26 meses, cinco ônibus foram abastecidos com a mistura B20 e cinco com diesel D22, os quais rodaram em média 140 mil quilômetros.

Gateau (2006) apresenta resultados obtidos na França. Os testes, com duração de 12 anos (1993 a 2005), derivam de uma frota de 20 caminhões com tecnologia EURO 0 a EURO III, dos quais 10 foram abastecidos com B50 de colza e outros 10 com diesel tradicional. Ao todo foram rodados mais de 13 milhões de quilômetros, sendo cinco motores desmontados ao final dos testes. Dentre os itens avaliados encontram-se o consumo de combustível, alterações na partida a frio e durabilidade e desgaste de componentes.

Proc et al. (2006) relatam estudo conduzido nos EUA, entre 2004 e 2006, com frota de nove ônibus movidos a B20 de óleo de soja. Cada veículo rodou cerca de 160 mil km, sendo avaliados impactos sobre consumo de combustível, emissões, potência e performance dos motores, alterações na partida a frio e durabilidade e desgaste de componentes. Como amostra testemunha os autores abasteceram frota de ônibus com B0, ou seja, com óleo diesel isento de biodiesel.

Barnitt et al. (2008) estimam o impacto do uso do B20 nas variáveis consumo de combustível, custos de manutenção, durabilidade e desgaste de componentes e alterações no óleo lubrificante. Os testes contaram com sete veículos urbanos de passageiros movidos a diesel de baixíssimo teor de enxofre e oito veículos movidos a B20, cada qual com rodagem inicial entre 138 e 214 mil quilômetros. Nos 12 meses de estudo os ônibus rodaram mais de 1,1 milhão de quilômetros.

Castellanelli et al. (2008) analisam o desempenho de um motor de ciclo diesel em bancada dinamométrica utilizando-se de misturas de biodiesel no diesel que variam de 2% a 100%.

Por sua vez, Fetraspor (2011) analisou o desempenho de 14 ônibus movidos a B20 e 11 movidos a diesel B no município do Rio de Janeiro. Em 12 meses, 1,1 milhão de quilômetros foram rodados, obtendo-se resultados acerca do consumo de combustível, durabilidade e desgaste de componentes e alterações no óleo lubrificante.

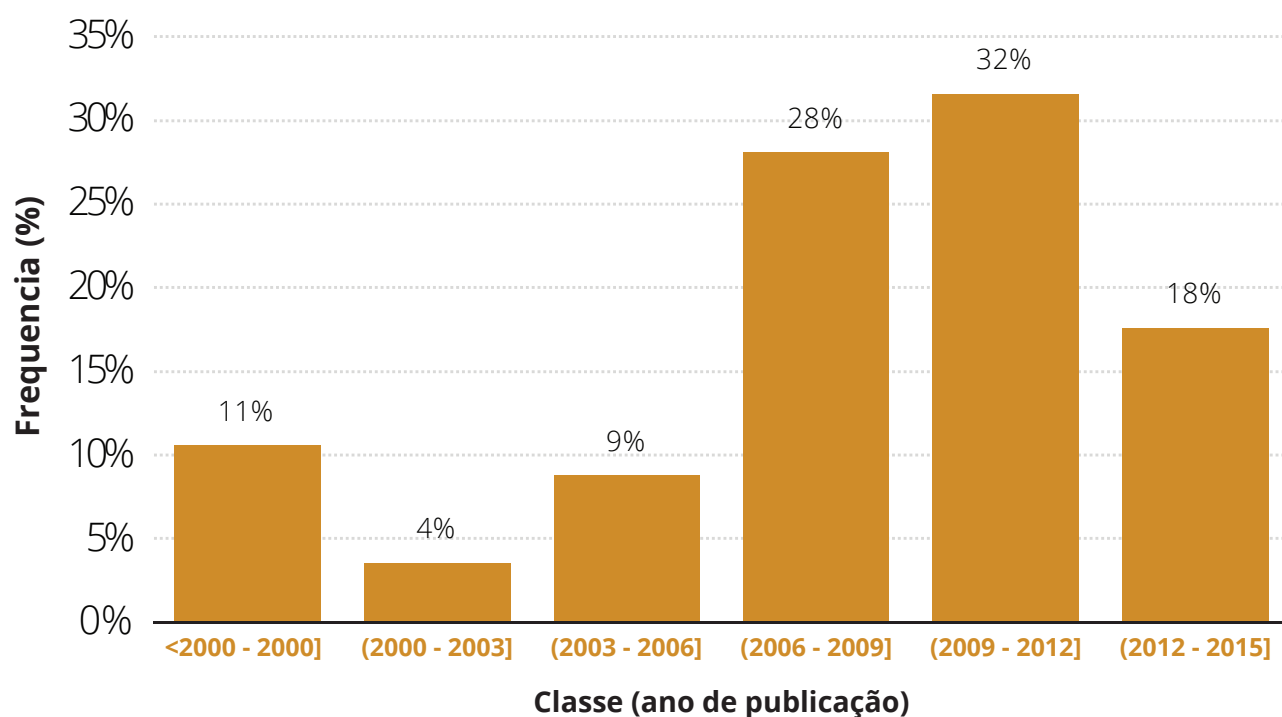
ANP (2014) apresenta um apanhado de resultados que cobrem as variáveis consumo de combustível, emissões, partida a frio, durabilidade e desgaste de componentes e potência e desempenho. Os testes, desenvolvidos pelas empresas Companhia Vale do Rio Doce S.A., Camargo Corrêa, Martin-Brower, Urbanização de Curitiba S.A. (URBS), Auto Viação Redentor, Viação Cidade Sorriso Ltda. e pelo Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (LADETEL/USP), contemplaram desde ônibus urbanos de passageiros até locomotivas e máquinas e equipamentos industriais. As misturas B10, B20, B25 e B100 foram analisadas em tais estudos.

Petrobras (2014), em ciclo de testes de 12 meses, analisou o uso do B20 em caminhonetas Ford num total de 100 mil quilômetros.

² O óleo diesel D2 possui características similares ao óleo diesel A S10 especificado pela ANP nº 50/2013 para comercialização no mercado nacional.

Temporalmente, 10% dos estudos analisados foram publicados até o ano 2000; 3% entre 2001 e 2003; 9% entre 2004 e 2006; 28% entre 2007 e 2009; 33% entre 2010 e 2012; e 17% após 2013.

Figura 3: Frequência dos estudos contemplados segundo o ano de publicação



Resumidamente, os estudos ora contemplados podem ser classificados segundo teor de biodiesel utilizado, motor ou veículo experimentado e matéria-prima utilizada conforme a Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Estudos contemplados

Estudo	BX (%)	Veículo/motor*	Matéria-prima
MIC, 1985	30/100	Ônibus/caminhão/outros	Soja
Schummacher e Madzura, 1994	30	Ônibus	Soja
Howes e Rideout, 1995 (a)	20	Ônibus	NI
Howes e Rideout, 1995 (b)	20	Ônibus	NI
Bickel e Strebig, 2000	20	Caminhão	Soja
Chase et al., 2000	50	Caminhão	Soja
EPA, 2002	0 a 100	Ônibus/Caminhão/outros	Soja/Colza/Canola/Gordura animal/Outros
Lagace et al., 2003	20	Ônibus	Soja/Canola/OGR/Gordura animal
Fraer et al., 2005	20	Caminhão	Soja
McCormick et al., 2005	20/100	NI	Soja/OGR/Gordura animal
Gateau, 2006	50	Caminhão/outros	Colza
Munack et al., 2006	20	Ônibus	Colza
Proc et al., 2006	20	Ônibus	Soja
Chan, 2007	20	Caminhão/outros	Soja/Gordura animal
McQueen, 2007	20	Caminhão	Soja

Tabela 3: Estudos contemplados (continuação)

Estudo	BX (%)	Veículo/motor*	Matéria-prima
Rhodes, 2007	20	Caminhão	Soja
Schiavone, 2007	20	Caminhão/outros	Soja/Outras
Steinmetz, 2007	20	Outros	Soja/Gordura animal/Outras
Barnitt et al., 2008	20	Ônibus	NI
Castellanelli et al., 2008	20/30/50/100	Bancada	Soja
Kong e Kimber, 2008	20/100	Outros	NI
Erhan et al., 2009	B10/B20/B30/B100	Outros	Soja/Colza/OGR/Gordura animal/Outras
Faraj, 2009	20	Caminhão/outros	Soja/Girassol/Gordura animal
Knuth e Winkler, 2009	30/100	Ônibus	Soja
Lujan, 2009	30/50/100	Outros	NI
MCT, 2009	20	Caminhão/outros	Soja
Rakopoulos e Giakoumis, 2009	100	Caminhão	Soja
Valtra, 2009	50/100	Trator	Soja/Gordura animal
Yanowitz e McCormick, 2009	20	Caminhão	NI
Durbin et al., 2010	20	Outros	Soja/OGR/Gordura animal
Kousoulidou et al., 2010	10	Leve	Colza/Palma
Moscherosch et al., 2010	100	Leve	Soja
Peterson et al., 2010	20	Outros	NI
B100 Energy, 2011	20	Ônibus	Gordura animal
Fetranspor, 2011	20	Ônibus	Soja
Kulkarni et al., 2011	20/50/100	Equip. irrigação	Gordura animal/Milho
Li et al., 2011	20	Leve	Soja
Osborne et al., 2011	20/100	Locomotiva	Soja
Traviss et al., 2011	20	Outros	Soja
Giakoumis et al., 2012	0 a 100	Outros	Soja/Colza/Palma/Outras
Grasman e Sadashivan, 2012	20	Ônibus/outros	NI
Hubert, 2012	30/100	Outros	Colza
McCormick, 2012	20	Caminhão/outros	Soja
Serrano et al., 2012, (a)	20/30	Ônibus	Soja/Canola
Serrano et al., 2012, (b)	20	Outros	Soja/Palma
Shurland et al., 2012	20	Locomotiva	NI
Tziourtzioumis e Stamatelos, 2012	70	Outros	Soja/OGR/Colza
VN Engineers, 2012	20	Ônibus	Soja/OGR
Anthonis et al., 2013	30	Ônibus	NI
Chavez, 2013	20	Outros	Soja
Winkler et al., 2013	100	Trator	NI
ANP, 2014	20/25/100	Ônibus/caminhão/outros	Diversos
Bari, 2014	20	Ônibus	Canola
Broatch et al., 2014	50/100	Leve	Soja/Colza
Lim et al., 2014	20	Outros	Colza/Outros
Petrobras, 2014	20	Leve	NI
Lahane e Subramanian, 2015	20/25/50/100	Bancada	NI
Tinprabath et al., 2015	20/50/100	Outros	Colza

* 'Outros', no campo 'Veículo/motor', comporta outras circunstâncias não classificadas.

Nota: NI = Não Informado

Os resultados estimados em termos de impactos devido ao maior uso de biodiesel foram divididos em cinco variantes, conforme o detalhamento:

- **Consumo de combustível:** comparação de dados de frotas alimentadas com diferentes misturas de diesel/biodiesel;
- **Emissões:** onde são apresentados dados de emissões diretas e indiretas de motores movidos a diesel e/ou biodiesel;
- **Partida a frio:** item que relata os impactos do biodiesel na partida de motores em condições de baixas temperaturas;
- **Potência e performance do motor:** na qual se busca evidências de alteração ou não na potência e desempenho de motores quando são utilizadas misturas com diferentes teores de biodiesel;
- **Durabilidade e desgaste de componentes:** tópico que investiga se existem alterações significativas em termos de durabilidade e desgaste de componentes do motor de acordo com o combustível utilizado.

Consumo de combustível

Brasil

Estudos que tomaram como base o B20 apontam para resultados heterogêneos quanto aos patamares de consumo de combustível. Castellaneli et al. (2008), MCT (2009)³, Fetranpor (2011) e Petrobras (2014)⁴ apontam quedas no consumo de combustível quando da utilização do B20 entre 0,1% e 8,83%. Por outro lado, MCT (2009)⁵ e Petrobras (2014)⁶ estimaram elevações de consumo na utilização do B20 entre 2,5% e 4,6%. Faraj (2009) não observa alterações de consumo com o uso do B20.

Para MIC (1985), o consumo específico equipara-se quando são comparados o uso do B30 com o B0. Castellaneli et al. (2008), também realizando testes com B30, chega a resultados que apontam elevação de consumo quando da utilização do biocombustível: em média, a frota abastecida com B30 consumiu 3,8% mais combustível do que a frota testemunha. Patamar intermediário (consumo 2% maior com o uso de biodiesel) é relatado por ANP (2014), ao revelar resultados de análises feitas pela Companhia Vale do Rio Doce S.A. com B25 em locomotivas.

Castellaneli et al. (2008) comparam o uso de B100 com diesel A indicando que a frota abastecida a biodiesel consome, em média, 12,6% mais combustível em relação àquela que utilizou diesel tradicional. Valtra (2009) indica patamares semelhantes, com acréscimo de consumo de 13,5%. ANP (2014) apresenta resultados menos desfavoráveis para o biocombustível, com incrementos de consumo entre 8 e 10% com o uso do B100 comparativamente ao diesel tradicional.

Mundo

Para Schumacher e Madzura (1994), a frota rodante com B20 apresentou consumo de combustível 3,0% superior àquela abastecida com diesel D2, resultado semelhante ao obtido por Rhodes (2007), Barnitt et al. (2008), Osborne et al. (2011) e Serrano (2012)⁷, cujos incrementos de consumo específico variaram entre 1,7% e 3,7%. Já Serrano (2012)⁸ e Chavez (2013) demonstram redução de consumo de 4% e 1%, respectivamente.

3 Em testes com motores off-road.

4 Teste com Ford Transit, uso urbano.

5 Teste Mercedes-Benz.

6 Teste com Ford Ranger, tanto em uso urbano como off-road.

7 Teste com uso não-urbano.

8 Teste com uso urbano.

Outros autores, como Bickel e Strebige (2000), Fraer et al. (2005), Lagace (2005), Proc et al. (2006) e Chan (2007) defendem que não existem diferenças consistentes em termos de consumo quando se compara o uso do B20 vis à vis o diesel tradicional. Confrontando o uso da mistura B50 com o diesel puro, Chase et al. (2000) e Gateau (2006) apontam, respectivamente, equivalência de consumo e elevação de 3,4%.

Em estudos com o B30, Serrano (2012) obtém resultados antagônicos dependendo da modalidade: para uso urbano, constata queda de 6,6% no consumo da frota abastecida com B30; já para uso não-urbano há aumento de consumo de 3,2%. Anthonis et al. (2013) defendem equivalência de consumo entre o B30 e o diesel tradicional.

Knuth e Winkler (2009) estimam que o uso do B100 eleva o consumo específico em 12% quando comparado ao diesel comum.

Emissões

Brasil

Como parte do programa de validação da mistura B5, as emissões do biodiesel de soja produzido pelas vias etílica e metílica foram testadas. Os resultados médios apontaram aumento da emissão de NO_x (B20: +4,2%; B50: +13,6% e B100 +19,2%) e redução no material particulado (B20: -11%; B50: -23% e B100 -39%).

ANP (2014), citando dados oriundos de ensaios de emissões dos motores com uso de B100 pela URBS, observou aumento de 19% nas emissões de NO_x e redução de 63,7% nos materiais particulados quando comparadas às emissões do diesel de petróleo. Periodicamente, a empresa monitora a opacidade emitida pelos ônibus da frota. Os veículos movidos a B100 obtiveram opacidade entre 69 e 73% menor do que os veículos similares com diesel S10. Para os veículos híbridos, que já atendem as especificações PROCONVE P7, a redução observada chegou a 80%.

Segundo Fetranpor (2011), tem-se redução da opacidade entre 11% e 39% no uso do B20 em ônibus de transporte público de passageiros. Tais reduções no índice de opacidade confirmam, ainda que de forma indireta, a redução na emissão de material particulado.

Valtra (2009), em testes das misturas B50 e B100 em tratores, constatou redução nas emissões de NO_x (-12,4%) e HC (-25,7%) e manutenção das emissões de CO ao utilizar B50. Com o B100, as emissões de NO_x apresentaram um aumento de 11,4%, enquanto que as emissões de HC e CO apresentaram sensível redução (-45,6% e -17%, respectivamente). Para a opacidade, verificou-se com o uso da mistura (B50) uma redução de, em média, 16,39%, enquanto que o uso do biodiesel puro (B100), diminuiu as emissões de fuligem em 49,58%.

A Companhia Vale do Rio Doce S.A., em testes com o B25 em locomotivas, constatou aumento nas emissões de NO em 0,6% e redução nas emissões de CO em 9,7% (ANP, 2014).

Mundo

Giakoumis et al. (2012) realizaram extensa revisão bibliográfica de estudos que avaliaram o efeito do biodiesel nas emissões dos motores de ciclo diesel, principalmente em testes de bancadas, segundo diferentes ciclos e com o uso de biodiesel de diferentes oleaginosas e gorduras. De modo geral, o aumento no teor de biodiesel tende a reduzir as emissões de material particulado, hidrocarbonetos e monóxido de carbono, enquanto a emissão de NO_x pode sofrer pequenos aumentos. A

revisão demonstra, contudo, que as emissões são influenciadas pela condição de operação do motor e também pelo teor de biodiesel. Os resultados encontrados por Giakoumis são similares àqueles apresentados em EPA (2002).

A redução na emissão de materiais particulados foi observada em trabalhos como os de Moscherosch et al. (2010), Chase et al. (2000) e Osborne et al. (2011). Traviss et al. (2011) expandiu sua avaliação e identificou, inclusive, redução na emissão de particulados finos com o uso do biodiesel.

A emissão de NOx possui forte dependência das condições de operação do motor, carga e rotação. Tal influência é percebida na variação dos resultados reportados. Serrano (2012) analisou a emissão de ônibus em dois regimes de usos diferentes, urbano e extra-urbano, onde foi possível identificar tanto o aumento quanto a diminuição nas emissões de NOx, dependendo da condição de operação.

Proc et al. (2006), ao avaliarem as emissões segundo o ciclo CSHVC (city-suburban heavy-vehicle cycle), observaram redução nas emissões de NOx e também a diferença nos resultados entre motoristas. Anthonis (2013) cita trabalho com medições realizadas em condições reais em ônibus urbanos onde os resultados sugerem, inclusive, a possibilidade de redução nas emissões de NOx. Schumacher e Madzura (1996) e Kulkarni (2011) não identificaram alteração nas emissões de NOx, enquanto McCornick (2012) ressalta a drástica redução nas emissões de NOx nos motores dotados de conversor catalítico, como os presentes nos motores PROCONVE P7. Em seus estudos, não foi observado nenhum dano ou perda de eficiência dos catalisadores, mesmo após 240.000 quilômetros de testes com B20.

Osborne et al. (2011) e Shurland et al. (2012), testando o uso do biodiesel em locomotiva, confirmam a tendência de redução nas emissões de materiais particulados, hidrocarbonetos e monóxido de carbono em condições reais de operação e seguindo os ciclos de teste padronizados line-haul e switch. Para o NOx, Shurland et al. (2012) ressaltou que os equipamentos testados com B20 ainda atendiam as especificações da EPA para ambos os ciclos, enquanto Osborne et al. (2011) identificou aumento da emissão NOx apenas no ciclo line-haul.

Partida a frio

Brasil

No Brasil, a Petrobras realizou estudo específico de partida à baixas temperaturas em quatro Ford Rangers (EURO IV) rodando com B20 a -10°C. Nenhuma alteração foi observada na comparação com diesel fóssil (Moreira e Maia, 2014).

Mundo

De forma geral, mesmo em países de climas mais frios do que o Brasil, problemas de partida com motor frio somente são reportados para misturas superiores ao B50. Na França, foi realizado um acompanhamento em mais de 20 veículos pesados e 14 leves com B50 entre 1993 e 2005 (Gateau, 2006). Nesses 12 anos, caminhões pesados Volvo e Scania e veículos leves Peugeot e Citroën, atendendo os padrões EURO 0, EURO I, EURO II e EURO III, foram devidamente monitorados e não apresentaram problemas de partida a frio.

Em Minnesota-EUA, que possui inverno bastante rigoroso, seis caminhões Ford LT9000 rodaram com B20 por cerca de 220 mil quilômetros, também sem nenhum problema (Bickel e Strebiger, 2000).

Amplio acompanhamento foi realizado com mais de quarenta veículos de diferentes fabricantes na cidade de Vancouver-Canadá. A frota estudada totalizou cerca de 8 milhões de quilômetros utilizando B20, entre os anos de 2005 e 2006. Mesmo no inverno não foi reportado qualquer tipo de problema.

O CARB (California Air Resources Board) fez um estudo envolvendo mais de 40 frotas de veículos de vários estados norte-americanos utilizando B20, B50 e B100. Foram acompanhados veículos com motores International/Navistar, General Motors, Perkins, Mercedes Benz, Volkswagen, MAC, Thomas Built, Volvo, Isuzu, John Deere, Caterpillar, Cummins, Ford, Detroit Diesel e Freightliner, não havendo detecção de problemas com partida à frio nos usos do B20 e do B50. Recomendou-se o uso de aditivos para o uso de B100, no inverno (Durbin et al., 2010).

A injeção a temperaturas baixas, na faixa de -80°C, foi avaliada com B20, B50 e B100 utilizando um injetor piezoelétrico Bosch CRI 3.1 em vários motores diesel. Nenhuma alteração foi observada quando comparada à injeção de diesel fóssil (Tinprabath et al., 2015).

Em estudo da Universidade de Valência (Espanha) utilizando vários blends de B0 a B100 em motores de veículos leves Euro V com injeção direta e "common rail", concluiu-se que a partida a frio com B100 pode gerar alterações no fluxo mássico de combustível, afetando assim a combustão, recomendando-se uso de um máximo de B50 no inverno europeu (Broatch et al., 2014).

A partida a frio pode também afetar de forma diferenciada as emissões de particulados. Essa foi a conclusão de Rakopoulos e Giakoumis (2009) em motores de caminhões pesados com B100. Na partida a frio, observou-se uma redução das emissões de particulados em 63% quando comparado ao diesel sem biodiesel. Já na partida a quente, essa redução foi de 66%.

Potência e desempenho

Brasil

Quando do uso do B100, tanto MCT (2009) quanto Castellanelli et al. (2008) observam pequenos impactos de perda de potência e torque. Segundo o primeiro estudo, o resultado é esperado devido ao menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel mineral. Já MIC (1985), em testes desenvolvidos junto à Caterpillar Brasil, não observa quaisquer impactos no quesito potência e desempenho. Castellanelli et al. (2008) também registram leve perda de potência e torque na utilização do B50.

MIC (1985), em testes da Cummins, Volvo e Fiat, não observam quaisquer renúncias de potência e desempenho na utilização do B30. Por outro lado, os testes realizados pelas marcas MWM e Massey Perkins registraram impactos médios em termos dos mesmos quesitos. ANP (2014), relatando testes com B25 em locomotivas da empresa Vale, não indica perda de performance devido ao uso de teores maiores de biodiesel.

Diversos outros estudos nacionais abordam o assunto relacionado à utilização do B20. B100 Energy (2011), Fetranpor (2011) e ANP (2014) defendem que não há perdas de potência e desempenho em tais condições, enquanto Petrobras (2014), em testes com Ford Rangers, relata leve perda de desempenho em relação ao uso do diesel mineral.

Mundo

No cenário internacional, Knuth e Winkler (2009) e Lahane e Subramanian (2015) relatam queda de desempenho e torque de 9% e 2,76%, respectivamente, quando comparado o uso do B100 e do diesel comum.

Para patamares inferiores de mistura de biodiesel ao diesel, Lahane e Subramanian (2015) registram perda de 0,9% no torque dos motores com o uso do B20. Por outro lado, Lujan (2009) – analisando o uso do B30 – e os estudos de Bickel e Strebis (2000), Lagace et al. (2003), Proc et al. (2006), Faraj (2009), Durbin et al. (2010), Chavez (2013) e Bari (2014) não indicam qualquer impacto sobre a potência e o desempenho dos motores de ciclo diesel com o uso de B20.

Durabilidade e desgaste de componentes

Brasil

De forma semelhante ao abordado no tópico 'Potência e desempenho', poucos são os casos e relativamente baixos os potenciais impactos de maiores usos de biodiesel no que tange à durabilidade e desgaste de componentes dos motores a diesel.

MIC (1985) relata baixos impactos, como depósitos nos pistões, cabeçotes e bicos injetores, na utilização do B100 em ônibus Mercedes-Benz. Além destes efeitos, constata ainda desgastes nos cilindros nos testes da Fiat, caminhões Mercedes-Benz, MWM Motores Diesel e Massey Perkins, estes utilizando o B30. Por outro lado, o mesmo documento não aponta impacto nos testes com B30 realizados pela Cummins e pela Volvo; o mesmo se conclui quando do uso do B100 em equipamentos Saab/Scania e Caterpillar (MIC, 1985).

Em se tratando do B30, MCT (2009) relata inexistência de impactos em testes desenvolvidos pela Peugeot/Citroën, resultado equivalente ao obtido no uso do B20 por equipamentos das empresas Camargo Corrêa e Martin-Brower.

Fetranspor (2011) não observa quaisquer impactos na durabilidade dos componentes com a utilização de B20 em ônibus metropolitanos de passageiros.

ANP (2014), registra a necessidade de trocas mais frequentes dos filtros de combustível quando da utilização do B20 em motores off-road, assim como, a inexistência de impactos indesejados sobre a durabilidade e desgaste de componentes em testes realizados pela empresa Camargo Corrêa e pelo Ladetel.

Por fim, Petrobras (2014) indica bons resultados no uso do B20 nas frotas Ford Ranger e Transit. No primeiro caso, pequenos desgastes na paredes dos cilindros foram as únicas ocorrências apontadas, enquanto que no caso das Transit nenhum impacto foi observado.

Mundo

Dos estudos internacionais contemplados no presente documento, Winkler et al. (2013) apontam para pequenos acúmulos de elementos e redução dos períodos de troca de óleo no caso da utilização do B100.

No que tange à utilização de B50, Chase et al. (2000) e Gateau (2006) convergem em termos de resultados, afirmando que não existem impactos negativos na durabilidade e no desgaste de componentes dos motores analisados.

Lagace et al. (2003) e Fraer et al. (2005) citam maior necessidade de troca de filtros de combustível e de bicos injetores com utilização de B20, efeitos estes considerados pouco significantes pelos autores. Já Bickel e Strebis (2000), Proc et al. (2006), Barnitt et al. (2008) e Durbin et al. (2010) não constatam impactos negativos no quesito durabilidade.

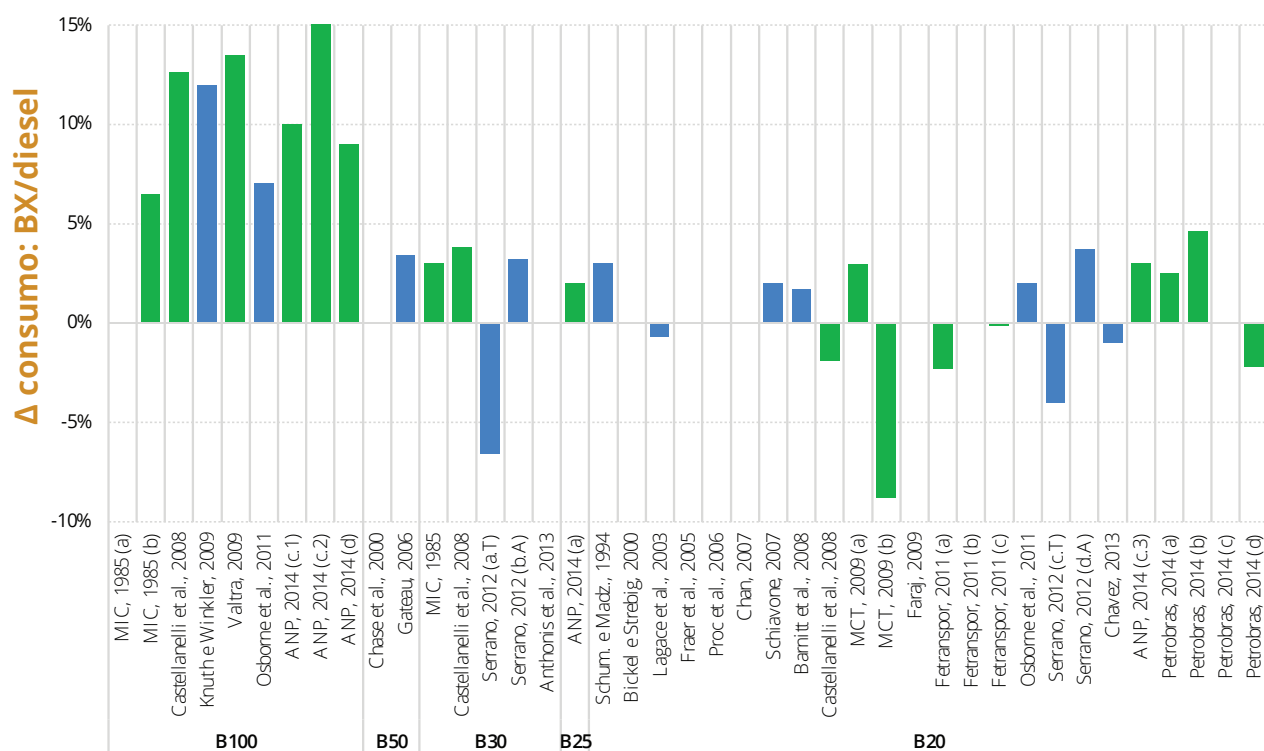


Resumo dos resultados

As Figuras 4 a 6 e a Tabela 4 subsequentes sistematizam os principais resultados obtidos nos estudos ora apresentados. O destaque em verde compreende as informações coletadas junto a literatura nacional.

No que tange às diferenças de consumo de combustível entre testes que contemplam misturas elevadas e diesel convencional, percebe-se, tal como esperado, menores elevações médias quanto menor o teor de biodiesel (Figuras 4 e 5). Em média, os estudos que contemplaram o B100 apresentaram consumo 9,5% maior em comparação ao diesel convencional, variando do mínimo de 0% ao máximo de 15%.

Figura 4: Consumo de combustível – variação do consumo devido ao uso de “misturas elevadas” de biodiesel em relação ao diesel tradicional



MIC, 1985 (a): Mercedes Benz do Brasil (ônibus)

MIC, 1985 (b): Saab/Scania do Brasil

MCT, 2009 (a): Mercedes-Benz

MCT, 2009 (b): Testes com motores off-road

FETRANSPOR, 2011 - (a): Rodoviária A. Matias

FETRANSPOR, 2011 - (b): Real Auto Ônibus

FETRANSPOR, 2011 - (c): Viação Ideal

Serrano, 2012 (a.T): uso urbano

Serrano, 2012 (b.A): uso não-urbano

Serrano, 2012 (c.T): uso urbano

Serrano, 2012 (d.A): uso não-urbano

Petrobras, 2014 (a): Ranger, uso na estrada

Petrobras, 2014 (b): Ranger, uso na cidade

Petrobras, 2014 (c): Transit, uso na estrada

Petrobras, 2014 (d): Transit, uso na cidade

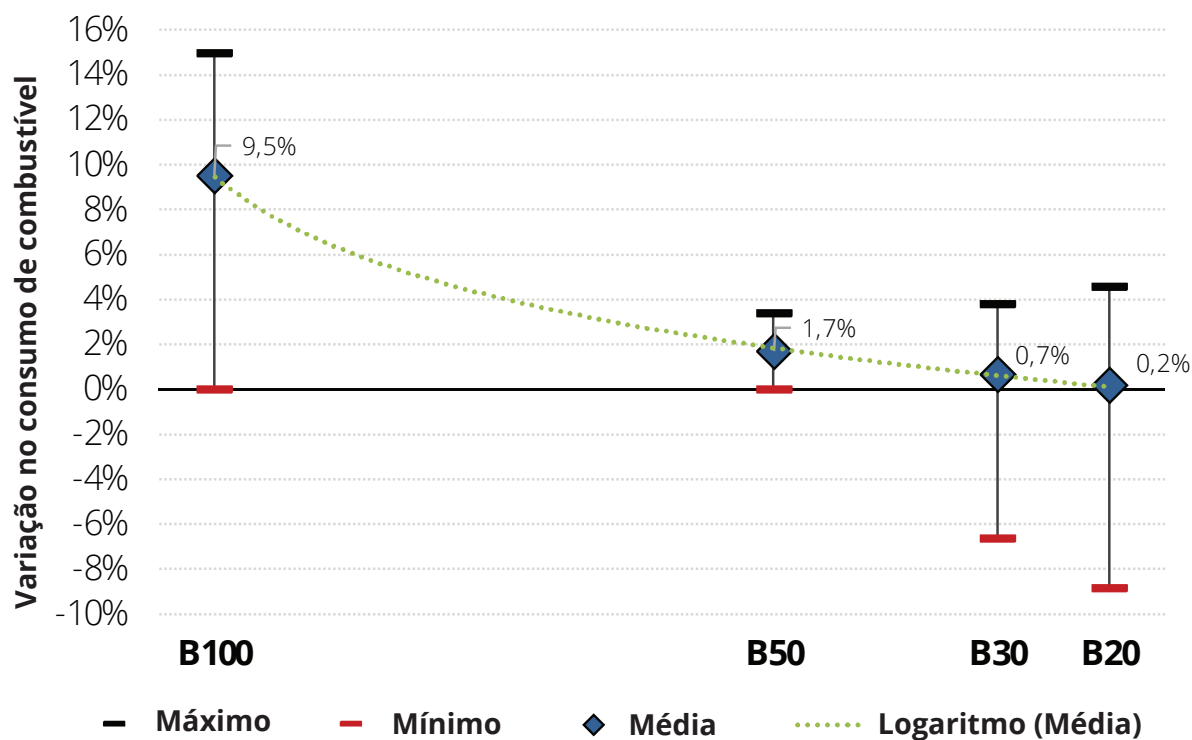
Quando utilizado o B50, o aumento no consumo ficou entre 0% e 3,4%, com média de 1,7%.

O cômputo dos resultados com uso de B30, por sua vez, apresentou elevação média de consumo de combustível de 0,7%, com variância significativa (de -6,6% a 3,8%), enquanto os testes com B20 apresentaram variação de consumo entre -8,8% e 4,6%, com média de 0,2%.

Dentre as justificativas para a tendência observada, cita-se o menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel (elevando o consumo unitário de combustível do primeiro). Em contrapartida, a maior massa específica do biocombustível pode, por vezes, atuar restringindo a amplitude de aumento de consumo, haja vista que em um mesmo volume de combustível tem-se maior massa de biodiesel em relação ao diesel mineral.

Não obstante, a variância relativamente alta observada comprova a dificuldade de se obter estimativas homogêneas e compatíveis para fins de tomada de decisão. Enquanto o uso de metodologias normatizadas para avaliação do consumo controlam vários parâmetros de modo a obter resultados reproduzíveis, tal controle leva a condições que se afastam do uso real do veículo. Por outro lado, a adoção de metodologias que reproduzem situações reais leva a obtenção de resultados provavelmente coerentes dentro do estudo, mas de difícil comparação com outros estudos.

Figura 5: Consumo de combustível – variação do consumo de combustível por faixa de mistura diesel-biodiesel



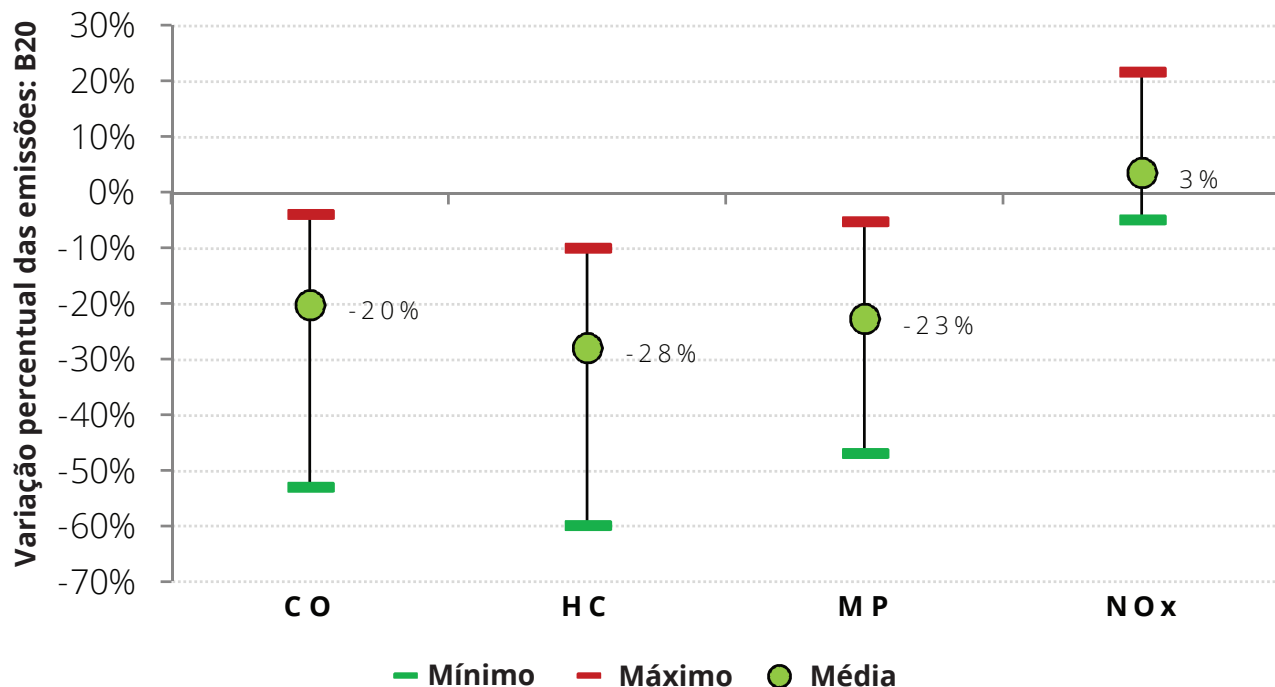
O balanço das emissões diretas do biodiesel mostra-se positivo quando comparado ao diesel mineral. Ao encontro do apresentado por EPA (2002), o uso do B20 gera significativas diminuições das emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e materiais particulados (MP), ante leve aumento das emissões de óxido de nitrogênio (NOx).

Considerando-se o uso do B20, em média, os estudos ora contemplados registraram redução de emissões da ordem

de 20% nas emissões de CO, variando entre diminuições de 53% a 4%. Patamares semelhantes foram observados nas reduções de emissões de MP (média de -23%, com mínimo de -5% e máximo de -47%). No caso dos HC, a redução média foi de 28% (variando entre a redução mínima de 10% e a máxima de 60%).

No caso do NOx, evidencia-se um pequeno aumento das emissões, da ordem de 3% quando utiliza-se o B20 em detrimento do diesel fóssil puro. Não obstante haverem relatos de aumento das emissões em patamares superiores aos 20%, há casos em que reduções das emissões do NOx foram relatadas, chegando a -5%.

Figura 6: Variação das emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), materiais particulados (MP) e óxido de nitrogênio (NOx) com o uso do B20



A Tabela 4 apresenta o resumo dos resultados para os itens 'Partida a Frio', 'Potência e Desempenho' e 'Durabilidade e Desgaste de Componentes'.

Raros foram os resultados que apontaram ressalvas de 'Partida a Frio'; as limitações restringem-se a ambientes cujas temperaturas atingem patamares negativos, não havendo aplicação pertinente ao mercado brasileiro.

Para o item 'Potência e Desempenho', os resultados são notadamente pouco significantes quando se relaciona o uso de B20 com o diesel convencional. Nestes casos, houve relatos esparsos de perda de potência e torque, mas a maior parte dos estudos contemplados não registra impactos negativos devido ao maior uso de biodiesel. Houve casos, inclusive, nos quais se constatou elevação de potência. Conforme o teor de biodiesel misturado ao diesel aumenta, constatações sobre redução de potência e queda no desempenho tornam-se mais usuais.

Por fim, poucos são os prejuízos atribuíveis ao biodiesel no que tange a 'Durabilidade e Desgaste de Componentes'. Em

suma, constata-se maior frequência nas trocas de filtros de combustíveis e alguns outros componentes.

Os estudos contemplados convergem quando indicam a necessidade da existência de boas práticas ao longo da cadeia de produção e distribuição de combustíveis, devendo-se conferir atenção especial aos corretos procedimentos de manejo, transporte e armazenamento do biodiesel e do diesel mineral consumidos pelo mercado automotivo. Uma gama não desprezível dos problemas ora citados deriva das más condições operacionais observadas, e não necessariamente do fato de se estar consumindo mais ou menos biodiesel. Dá-se como fato, ainda, a necessidade da observância das devidas especificações dos combustíveis mineral e renovável ao longo de sua vida útil, ou seja, a qualidade dos produtos exerce papel preponderante para o bom funcionamento dos motores de ciclo diesel.

Tabela 4 – Partida a frio, potência e desempenho e durabilidade e desgaste de componentes: resultados dos estudos contemplados

BX	Estudo	Partida a frio	Potência e desempenho	Durabilidade e desgaste de componentes
B100	MIC, 1985 (a)			Presença de depósitos moderados esbranquiçados nos pistões, cabeçotes e bicos injetores
	MIC, 1985 (b)			Sem impacto
	MIC, 1985 (c)		Sem impacto	Sem impacto
	Knuth e Winkler, 2009		Perda de desempenho de 9%	
	MCT, 2009 (c)		Leve perda de desempenho devido ao menor poder calorífico do biodiesel	
	Castellanelli et al., 2008		Leve perda de potência e torque	
	Valtra, 2009		Leve perda de potência	Leve presença de depósitos nas bombas e trocas de óleo menos espaçadas
	Winkler et al., 2013			Pequenos acúmulos de elementos e redução dos períodos de trocas de óleo
	Broatch et al., 2014	Alterações no fluxo mássico de combustível		
	Lahane e Subramanian, 2015		Queda de 2,76% no torque	
B50	Chase et al., 2000		Sem impacto	Sem impacto
	Gateau, 2006	Sem impacto		Sem impacto
	Castellanelli et al., 2008		Leve perda de potência e torque	
	Broatch et al., 2014	Limite máximo: B50		
B30	MIC, 1985 (d), (e)		Sem impacto	Sem impacto
	MIC, 1985 (f)		Sem impacto	Leve presença de depósitos nos bicos injetores
	MIC, 1985 (g)			Entupimentos de orifícios de injetores, desgaste e ovalização anormal dos cilindros
	MIC, 1985 (h), (i)		Perda de desempenho e potência	Depósitos e entupimento de injetores, erosão de pistões e desgaste adverso
	Lujan, 2009		Sem impacto	
	MCT, 2009 (a)			Sem impacto
	Serrano, 2012			
B25	ANP, 2014 (a)		Sem impacto	Sem impacto

Tabela 4 – Partida a frio, potência e desempenho e durabilidade e desgaste de componentes: resultados dos estudos contemplados (Continuação)

BX	Estudo	Partida a frio	Potência e desempenho	Durabilidade e desgaste de componentes
	Bickel e Strebig, 2000	Sem impacto	Sem impacto	Sem impacto
	Lagace et al., 2003		Sem impacto	Maior troca de filtros de combustíveis
	Fraer et al., 2005			Sem impacto significativo: eventualmente, maior frequência em trocas de bicos de injeção e filtros de combustível
	Proc et al., 2006		Sem impacto	Sem impacto
	Chan, 2007	Sem impacto		
	McQueen, 2007	Sem impacto		
	Schiavone, 2007			Maior troca de filtros de combustíveis e bicos injetores
	Barnitt et al., 2008			Sem impacto
	Castellanelli et al., 2008		Aumento de potência e leve perda de torque	
	Faraj, 2009		Sem impacto	
B20	MCT, 2009 (b), (c)			Sem impacto
	Durbin et al., 2010	Uso de aditivos ou mudança de mistura em temperaturas muito baixas	Sem impactoW	Sem impacto
	B100 Energy, 2011		Sem impacto	
	Fetranspor, 2011	Sem impacto	Sem impacto	Sem impacto
	Traviss et al., 2011			
	Chavez, 2013		Sem impacto	
	ANP, 2014 (b), (e)		Sem impacto	Sem impacto
	ANP, 2014 (c)		Sem impacto	Maior troca de filtros de combustíveis
	Bari, 2014		Sem impacto	
	Petrobras, 2014 (a)	Sem impacto	Leve perda de desempenho	Leves desgastes nas paredes dos cilindros
	Petrobras, 2014 (b)	Sem impacto		Sem impacto
	Lahane e Subramanian, 2015		Leve queda (0,9%) no torque	
	Tinprabath et al., 2015	Sem impacto		

MIC, 1985 (a): Mercedes-Benz do Brasil (ônibus)
 MIC, 1985 (b): Saab/Scania do Brasil
 MIC, 1985 (c): Caterpillar Brasil
 MIC, 1985 (d): Cummins do Brasil
 MIC, 1985 (e): Volvo do Brasil
 MIC, 1985 (f): Fiat Diesel Brasil
 MIC, 1985 (g): Mercedes-Benz do Brasil (caminhão)
 MIC, 1985 (h): MWM Motores Diesel
 MIC, 1985 (i): Massey Perkins

MCT, 2009 (a): Teste Peugeot/Citroën
 MCT, 2009 (b): Teste Mercedes-Benz
 MCT, 2009 (c): Teste com motores off-road
 ANP, 2014 (a): Companhia Vale do Rio Doce S.A.
 ANP, 2014 (b): Camargo Corrêa S.A.
 ANP, 2014 (c): Martin-Brower Comércio
 ANP, 2014 (e): LADETEL/USP
 Petrobras, 2014 (a): Ranger
 Petrobras, 2014 (b): Transit



Considerações finais

Os 57 trabalhos usados para reportar os resultados de testes e experiências com o uso de misturas de biodiesel ao diesel de petróleo superiores a 10% (>B10) foram selecionados como os mais robustos sob o ponto de vista científico, oriundos de fontes confiáveis e com representatividade aplicável à realidade brasileira.

Esses trabalhos evidenciam interesse crescente ao longo do tempo, de pesquisadores e de entidades públicas e privadas, na avaliação dessas mesclas sobre itens importantes para a cadeia produtiva do biodiesel e o usuário final de suas misturas. Depois de oscilar entre 3% e 10% nos triênios anteriores, 28% dos estudos foram realizados entre 2006 e 2009. No triênio seguinte (2009-2012), foram identificados 33% desses trabalhos e, no mais recente (2012-2015), 18%.

De modo geral, as avaliações de misturas diesel-biodiesel indicam que, até o B30, não se verificam tendências claras quanto a variação do consumo de combustível, haja vista que são apresentados resultados tanto no sentido de aumento quanto de redução do consumo. Até o B50, os incrementos médios observados são relativamente pequenos ou insignificantes, variando entre 0,2% (B20), 0,7% (B30) e 1,7% (B50). Merece registro a elevada variação dos resultados para o B20, que vão desde redução no consumo de 8,8% até incremento de 4,6%. Para o B100, tanto a média (aumento de 9,5%) quanto a variação (incrementos entre zero e 15%) mostram-se maiores.

Tal variabilidade pode ser explicada pela natureza dos experimentos: enquanto os resultados de testes de bancada são mais reprodutíveis – por serem mais controlados –, os experimentos com veículos rodando sofrem influência de fatores pouco ou nada controláveis (condições de tráfego, motorista, número de passageiros ou volume de carga, etc.), o que tende a produzir resultados diferentes.

Sobre o item emissões, há três aspectos a ressaltar. O primeiro diz respeito aos níveis de emissões estabelecidos pelo PROCONVE. Em suas sucessivas fases para os veículos pesados (caminhões e ônibus, basicamente) – P0 a P7 –, os limites máximos permitidos de emissões tornaram-se cada vez mais restritivos, abrangendo o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP). Nesse aspecto, os resultados de trabalhos relativos ao Brasil e a outros países mostram pequenos aumentos de NOx e reduções significativas nos demais poluentes citados, ambos crescentes com o aumento do teor de mistura, resultando num balanço de emissões favorável às misturas elevadas ora analisadas.

O segundo aspecto refere-se ao NOx. Há trabalhos indicando que as emissões desse poluente são fortemente dependentes das condições de operação, rotação e toque do motor, enquanto outros destacam a redução das emissões de NOx nos motores equipados com conversores catalíticos, situação em que se enquadram os motores da fase P7 do PROCONVE, a partir de 2012.

O terceiro ponto, em princípio, envolve o desafio representado pelo efeito compensação entre emissões de NOx e de MP: em geral, as condições operacionais do motor que reduzem a emissão de material particulado tendem a aumentar as emissões de óxidos de nitrogênio e vice-versa.

No tocante aos testes relacionados à dificuldade de partida a frio, poucas foram as ressalvas identificadas nos trabalhos

compilados, além de se restringirem a ambientes com temperaturas negativas, de pouca pertinência média no mercado brasileiro. Ademais, as exigências estabelecidas pela ANP quanto ao ponto de entupimento a frio, mais rigorosas nos meses de inverno, tendem a ser suficientes para prevenir qualquer tipo de problema nesse particular.

Potência e desempenho do motor foi outro item pesquisado em trabalhos selecionados e seus resultados foram semelhantes aos relativos ao consumo: redução de potência e perda de desempenho são mais frequentes com o uso de misturas mais ricas em biodiesel, mas também há testes indicando aumento ao invés de diminuição da potência. De modo geral, os estudos consultados não registram impactos significativos do uso de misturas de biodiesel ao diesel fóssil sobre a potência e o desempenho dos motores, notadamente no caso do B20.

Quanto à durabilidade e ao desgaste dos componentes, os estudos consultados em geral não relatam prejuízos importantes com o uso de mesclas de diesel-biodiesel em diferentes teores, exceto maior frequência nas trocas de filtros de combustíveis e de alguns outros componentes. Não obstante, o GT considera importante alguns registros a esse respeito, relacionados ao caráter biodegradável do biodiesel.

De fato, com base em recomendações inseridas em alguns dos trabalhos analisados e em boas práticas de armazenamento e manuseio dessas mesclas, é indicado seguir e aprimorar procedimentos e cuidados que permitam manter a qualidade da mistura especificada até seu uso final. Essa providência, aliada aos avanços no emprego de materiais mais adequados ao contato com esse combustível biodegradável, tanto no revestimento interno de tanques, como na fabricação de peças e componentes dos motores, tende a reduzir progressivamente possíveis problemas no uso final das mesclas diesel-biodiesel.

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=472>>.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Relatório Técnico nº 02/2014/SBQ/RJ**. Apresentação dos resultados dos Testes de uso experimental e específico de biodiesel e suas misturas com óleo diesel em teores diversos do autorizado em legislação. Rio de Janeiro. 2014.
- ANTHONIS, T.; BOGAERT, I.N.A.; DOBBELAERE, S.L.; SOETAERT, W.K. **Missed opportunities and lessons learned, evaluation of the initiative on B30 biodiesel in the CIVITAS project of the Belgian City Ghent**. Biomass and bioenergy 57, 191 e195, 2013.
- BARI, S. **Performance, combustion and emission tests of a metro-bus running on biodiesel-ULSD blended (B20) fuel**. Applied Energy 124, 35–43, 2014.
- BARNITT, MCCORMICK, R.L.; LAMMERT, M. **St. Louis Metro Biodiesel (B20) Transit Bus Evaluation**. Technical Report, NREL/TP-540-43486, July 2008.
- BICKEL, K.; STREBIG, K. **Soy-Based Diesel Fuel Study**. Final report, Legislative Commission on Minnesota Resources. 2000.
- BROATCH, A.; TORMOS, B.; OLMEDA, P.; NOVELLA, R. **Impact of biodiesel fuel on cold starting of automotive direct injection diesel engines**. Energy 73, 653-660, 2014.
- CASTELLANELLI, M.; SOUZA, S. N. M.; SILVA, S. L.; KAILER, E. K. **Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinâmométrica utilizando misturas diesel/biodiesel**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.1, p.145-153, jan./mar. 2008
- CHAN, S. **Biofleet case study #2**. City of Vancouver, 2007.
- CHAVEZ, D. **Demonstration of Biodiesel in Ground Tactical Vehicles and Equipment**, Final Report, 2013.
- CHASE, C.; PETERSON, C.; LOWE, G.; MANN, P.; **A 322,000 kilometer (200,000 mile) Over the Road Test with HySEE Biodiesel in a Heavy Duty Truck**, SAE Technical Paper 2000-01-2647, 2000.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. **Estatística**: Frota. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>.
- DURBIN, T.D.; MILLER, J.W.; JIANG, S.M. **Biodiesel Fleet Durability Study**. Draft Final Report, California Air Resources Board. Sacramento, July 2010.
- ERHAN, S.Z.; DUNN, R.O.; KNOTHE, G.; MOSER, B.R. **Fuel properties and performance of biodiesel**. Biocatalysis and Bioenergy, 2009.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions**. Draft Technical Report. October, 2002.
- FARAJ, L.C. **Motores diesel e uso de biodiesel**. CUMMINS Brasil Ltda. Julho de 2009. Disponível em: <http://www.aea.org.br/apresentacoes/lub08/Luis_Chain.pdf>.
- FETRANSPOR - FEDERAÇÃO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES DE PASSAGEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Biodiesel B20 – O Rio de Janeiro anda na frente**. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011. 104p.
- FRAER, R.; DINH, H.; PROC, K.; MCCORMICK, R.L.; CHANDLER, K.; BUCHHOLZ, B. **Operating Experience and Teardown Analysis for Engines Operated on Biodiesel Blends (B20)**, 2005 SAE Commercial Vehicle Engineering Conference, 2005.
- GATEAU, P. **Twelve years of using 50% RME fuel mixture in heavy trucks and light vehicles**. AEA 2006 – 5-6 April 2006 – Poitiers, Futuroscope.
- GIAKOUMIS, E.G.; RAKOPOULUS, C.D.; DIMARATOS, A.M.; RAKOPOULUS, D.C. **Exhaust emissions of diesel engines operating under transient conditions with biodiesel fuel blends**. Progress in Energy and Combustion Science 38, 691-715. 2012.
- GRASMAN, S.E., SADASHIVAM, S. **Implementation policy considerations for achieving year-round operability of biodiesel programs**. Biomass and bioenergy 39, 439-448, 2012.
- HOWES, P.; RIDEOUT, G. **Evaluation of biodiesel in an urban transit bus powered by a 1981 DDC8V71 engine**. MSED Report #95-26743-2. Canada, 1995b.
- HOWES, P.; RIDEOUT, G. **Evaluation of biodiesel in an urban transit bus powered by a 1988 DDECII6V92 TA engine**. MSED Report #95-26743-1. Canada, 1995a.
- HUBERT, A. **Utilisation of the internal engine potential of biodiesel (FAME) with consideration for specific fuel characteristics in the common rail diesel engines**. UFOP Project No. 540/122 – Final Report. September, 2012.

- KNUTH, H.; WINKLER, M. **Implementation of a 500h Engine Test Cycle and Field Testing of DEUTZ-Common-Rail Engines in Heavy-Duty Euro IV Truck Applications for Release of Biodiesel**. UFOP Project No. 540/080, Final Report. Cologne, September 2009.
- KONG, S.; KIMBER, A. **Effects of biodiesel blends on the performance of large diesel engines**. SAE Technical Paper 2008-01-1389, 2008.
- KOUSOULIDOU, M.; FONTARAS, G.; NTZIACHRISTOS, L.; SAMARAS, Z. **Biodiesel blend effects on common-rail diesel combustion and emissions**. Fuel 89, 3442-2449, 2010.
- KULKARNI, S.S.; JOHNSON, D.M.; DAVIS, J.A.; KENNON, D. **Irrigation power unit performance, efficiency, and NOx emissions with petroleum diesel, biodiesel and biodiesel blends**. Applied Engineering in Agriculture Vol. 27(2): 217-222, 2011.
- LAGACE, C; HOSATTE, P.; BEAUDIN, L.; BOURGAULT, C.; GOULET, M.; SOULIGNY, M.; SYLVESTRE, P.; TREMBLAY, L.Y. **Biodiesel Demonstration and Impact Assessment with the Société de Transport de Montreal (STM)**, 2003.
- LAHANE, S.; SUBRAMANIAN, K.A.. **Effect of different percentages of biodiesel-diesel blends on injection, spray, combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine**. Fuel 139, 537-545, 2015.
- LI, M.Y.; POYNTER, M.E.; PALMER, B.C.; PARKER, E.; MOSSMAN, B.T.; HOLMEN, B.A.; FUKAGAWA, N.K. **Are Biodiesel (B20) Emissions Less Harmful than Petrodiesel (B0)?**, Free Radical Biology and Medicine, 51 (2011) S106-S106.
- LIM, C.; LEE, J.; HONG, J.; SONG, C.; HAN, J.; CHA, J.S. **Evaluation of regulated and unregulated emissions from a diesel powered vehicle fueled with diesel.biodiesel blends in Korea**. Energy 77, 533e541, 2014.
- LUJAN, J.M.; TORMOS, B.; SALVADOR, F.J.; GARGAR, K. **Comparative analysis of a DI diesel engine fuelled with biodiesel blends during the European MVEG-A cycle: Preliminary study (I)**. Biomass and Bioenergy 33, 941-947, 2009.
- MCCORMICK, R.L. **Performance of Biofuels and Biofuel Blends**. NREL Project ID: FT003. May, 2012.
- MCCORMICK, R.L.; ALLEMAN, T.L.; RATCLIFF, M.; MOENS, L. **Survey of the Quality and Stability of Biodiesel and Biodiesel Blends in the United States in 2004**. Technical Report NREL/TP-540-38836. October, 2005.
- MCCORMICK, R.L.; WESTBROOK, S.R. **Storage Stability of Biodiesel and Biodiesel Blends**, Energy & Fuels, 24(2010) 690-698.
- MCQUEEN, J. **Biofleet case study #6**. Township of Langley, 2007.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. **Testes e ensaios para validação do uso da mistura biodiesel B5 em motores e veículos**. Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009. 176p.
- MINISTÉRIO DE INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO - MIC, Secretaria de Tecnologia Industrial. **Óleos vegetais – experiência de uso automotivo desenvolvida pelo Programa OVEG I**. Brasília, STI/CIT, 1985. 344p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários – 2013: Ano-base 2012**. Relatório Final. Brasília, 2014.
- MOREIRA, M.F.; MAIA, D.M. **Impact of a 20% biodiesel in diesel blend (B20) on vehicles**. In: XXII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva. Blucher Engineering Proceedings, Nº 2, V. 1, agosto de 2014.
- MOSCHEROSCH, B.W.; POLONOWSKI, C.J.; MIERS, S.A.; NABER, J.D. **Combustion and emissions characterization of soy methyl ester biodiesel blends in an automotive turbocharged diesel engine**. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 132(9), 092806 (2010).
- MUNACK, A.; KAUFMANN, A.; SCHRÖDER, O.; KRAHL, J.; BÜNGER, J. **Comparison of shell middle distillate premium diesel fuel and fossil diesel fuel with repeseed oil methyl ester**. Research Project Final Report, Braunschweig, April 2006.
- OSBORNE, D.; FRITZ, S.; GLENN, D. **The effects of biodiesel fuel blends on exhaust emissions from a general electric tier 2 line-haul locomotive**. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power - Transactions of the Asme, 133 (2011) 7.

PETERSON, A.M.; LEE, P.I.; LAI, M.C.; WU, M.C.; DIMAGGIO, C.L.; NG, S.; TANG, H.Y. **Effects of B20 on emissions and the performance of a diesel particulate filter in a light-duty diesel engine.** Journal of Engineering for Gas Turbines and Power - Transactions of the Asme, 132 (2010) 8.

PROC, K.; BARNITT, R.; HAYES, R.R.; RATCLIFF, M.; MCCORMICK, R.L.; HA, L.; FANG, H.L. **100,000-Mile Evaluation of Transit Buses Operated on Biodiesel Blends (B20).** NREL/CP-540-40128. Posted with permission. Presented at the Powertrain and Fluid Systems Conference and Exhibition, October 2006, Toronto, Canada. 2006.

RAKOPOULUS, C.D.; GIAKOURIS, E.G. **Diesel Engine Transient Operation: Principles of Operation and Simulation Analysis.** Springer-Verlag London, London, 2009. 390 p.

RHODES, C. **Biofleet case study #6.** Six BC Municipalities British Columbia, 2007.

SCHIAVONE, J.J. **Use of a biodiesel in a transit fleet: a synthesis of transit practice.** Research Sponsored by the Federal Transit Administration in Cooperation with the Transit Development Corporation. Washington, D.C. 2007.

SCHUMACHER, L.G.; MADZURA, T. **Biodiesel bus data collection project.** National Renewable Energy Laboratory – NREL. April 14, 1994 - June 30, 1996.

SERRANO, L.M.V.; CARREIRA, B.; CÂMARA, R.; GAMEIRO DA SILVA, M.C. **On-road performance comparison of two identical cars consuming petrodiesel and biodiesel.** Fuel Processing Technology 103, 125–133, 2012.

SERRANO, L.M.V.; CÂMARA, R.M.O.; CARREIRA, V.J.R.; GAMEIRO DA SILVA, M.C. **Performance study about biodiesel impact on buses engines using dynamometer tests and fleet consumption data.** Energy Conversion and Management 60, 2–9, 2012.

SHURLAND, M.; DEITCHMAN, R.; SMITH, W. **Emissions testing of an intercity passenger locomotive operating on b20 biodiesel fuel.** Proceedings of the Asme Joint Rail Conference 2012, (2012) 745-753.

STEINMETZ, R. **Biofleet case study #7.** Cascadia Biodiesel Card Lock Station Delta, 2007.

TINPRABATH, P.; HESPEL, C.; CHANCHAONA, S.; FOUCHER, F. **Influence of biodiesel and diesel fuel blends on the injection rate under cold conditions.** Fuel 144, 80–89, 2015.

TRAVISS, N.; THELEN, B.A.; INGALLS, J.K.; TREADWELL, M.D. **Evaluation of biodiesel's impact on real-world occupational and environmental particulate matter exposures at a municipal facility in Keene, NH.** Air Quality Atmosphere and Health, 5 (2012) 101-114.

TZIOURTZIOUMIS, D.; STAMATELOS, A. **Effects of a 70% biodiesel blend on the fuel injection system operation during steady-state and transient performance of a common rail diesel engine.** Energy Conversion and Management 60, 56–67, 2012.

VALE. **Análise da viabilidade e da influência do uso de biodiesel (B25) em locomotivas da frota da Vale.** In: IV Encontro de Ferrovias ANTF. Vitória/ES. Agosto de 2013.

VALTRA. **Avaliação do motor AGCO SISU POWER após testes de durabilidade com biodiesel em tratores Valtra BH180.** Relatório Técnico nº RT 001/09. 2009.

VN ENGINEERS. **Regional school bus study: a comparison of alternative fuels for school transportation fleets.** Prepared for the South Central Regional Council of Governments, North Haven. January, 2012.

WINKLER, M.; WITTROCK, M.; KNUTH, H.W. **Long-term durability investigations of DEUTZ AGRI POWER engines in emission stage EU COM III B with SCR-system for the release of biodiesel.** Ufop-PROMOTION PROJECT No. 540-103 – Final Report. Cologne, June, 2013.

YANOWITZ, J.; MCCORMICK, R.L. **Effect of biodiesel blends on North American heavy-duty diesel engine emissions.** European Journal of Lipid Science and Technology, 111 (2009) 763-772.

Anexo I – Matriz de análise utilizada

IDENTIFICAÇÃO DA INICIATIVA			
1. TÍTULO DO ESTUDO ANO			
2. ENTIDADE EXECUTORA			
3. PAÍS/CONTINENTE			
4. PERÍODO DA AVALIAÇÃO TEMPO			MESES
5. WEBSITE			
6. CARACTERÍSTICAS DOS MOTORES TESTADOS			
7. CARACTERÍSTICAS DA MISTURA UTILIZADA			
8. CARACTERÍSTICAS DO BIODIESEL USADO			
9. AVALIAÇÕES REALIZADAS:	RESULTADOS		
a. Consumo de combustível			
b. Emissões			
c. Partida a frio			
d. Potência/performance do motor			
e. Custos de manutenção			
f. Durabilidade/desgaste de componentes			
g. Desempenho			
h. Outros			
10. COMENTÁRIOS FINAIS DO GT	CAMPO DE ABRANGÊNCIA QUALITATIVA: Resumir a utilidade da iniciativa, parecer sobre o estudo, etc.		



ISBN 978-85-7991-098-2



9 788579 910982 >