

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA MISTURA DE ETANOL ANIDRO A 7% EM MOTORES DE CICLO DIESEL SEM ADIÇÃO DE ADITIVOS

Gilberto Hirotsugu Azevedo Koike
Armando José Dal Bem

Virgolino de Oliveira S/A Açúcar e Álcool, Fazenda Sto Antonio,
CEP 15800-000, Ariranha, SP, e-mail: gkoike@gvo.com.br; armando@gvo.com.br

Luís Carlos Passarini

Depto. Eng. Mecânica, EESC-USP, Avenida Trabalhador São-carlense, 400,
CEP 13566-590, São Carlos, SP, e-mail: luca@sc.usp.br

Resumo

O artigo relata testes de utilização de etanol anidro misturado ao óleo diesel sem adição de aditivos, na proporção de 7%, iniciados no ano de 1998, na Virgolino de Oliveira S/A Açúcar e Álcool (Usina Catanduva). Apresenta a forma de preparação da mistura, discute os resultados, apresenta os valores obtidos na medição de opacidade e na análise de óleo lubrificante realizadas e mostra durabilidades de componentes do sistema de injeção de combustível.

Palavras-chave: etanol anidro, diesel, mistura.

Introdução

Na busca incessante por combustíveis que agridam menos o ambiente, as atenções dos pesquisadores se voltaram para a mistura álcool-diesel. Os primeiros testes tiveram início no final dos anos 1970, mas a necessidade de adicionar teores elevados de estabilizantes especiais nessas combinações, elevando sobremaneira seus custos, limitaram o desenvolvimento desses estudos (Leão, 2002).

A idéia ressurgiu com força na década de 1990, em função das crescentes exigências ambientais, despertando o interesse em novas pesquisas, que se concentraram no desenvolvimento de aditivos estabilizantes mais eficazes e econômicos (Leão, 2002).

Vários países se interessaram pelo assunto, em especial a Suécia, Estados Unidos, Canadá, Austrália, Chile, Alemanha e Tailândia. Normalmente, envolvem pequenas frotas com diferentes teores de álcool e aditivos (Leão, 2002).

Com base nos resultados positivos obtidos com uma mistura preparada com um aditivo da marca comercial Dalco e com 15% de álcool etílico hidratado combustível (AEHC) na Suécia, a União dos Municípios Canavieiros do Estado de São Paulo (Unica) encaminhou uma proposta para investigar a sua viabilidade de uso no Brasil, em abril de 1997 (Leão, 2002).

Essa experiência foi abandonada devido a uma série de inconvenientes encontrados. Entre os quais se pode citar a dependência de um único fornecedor do emulsificante

(Dalco, fabricado pela Australiana Apace-Sosalla), assim como o fato de a emulsão ser preparada sob condições específicas, sendo feita em linha, com ajuda de misturadores estáticos para manter a estabilidade. Por último, essa emulsão provoca uma séria deposição de resíduos na bomba injetora, determinando o abandono definitivo desse projeto (Dabdoub, 2006).

Naquele mesmo ano, criou-se o Grupo Técnico II, coordenado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, para estudar a viabilidade técnica da mistura, congregando órgãos públicos, entidades de pesquisa, a iniciativa privada e organizações não-governamentais. Foi elaborado um programa que tinha por objetivo desenvolver novos mercados para o álcool carburante, reduzir os estoques do produto em níveis desejáveis e diminuir a demanda de importação de óleo diesel (Leão, 2002).

A mistura deveria também servir como mecanismo regulador para as oscilações da produção da agroindústria e contribuir para a redução da emissão de gases que agravam o “efeito estufa”. Além disso, diminuir a emissão de particulados que aumentam a poluição urbana (Leão, 2002).

O Programa Álcool & Diesel desenvolveu-se em duas direções: um projeto coordenado pela União da Agroindústria Açucareira e outro pela Associação dos Produtores de Álcool e Açúcar do Paraná. Os dois se diferenciavam por questões técnicas. A mistura proposta pela Unica continha de 3% a 10% de álcool hidratado (AEHC) e era obtida por emulsão,

enquanto a da Alcopar continha de 8% a 11,2% de álcool anidro (AEAC), obtida por solução (Leão, 2002).

As emulsões são misturas de dois ou mais líquidos imiscíveis, em que um é denominado fase dispersante e o outro, fase dispersa (que se encontra na forma de pequenas gotas). Há uma variedade enorme de emulsões. Uma emulsão clássica bem conhecida é aquela na qual uma das fases é a água e a outra é um líquido oleoso. Se o óleo for a fase dispersa, a emulsão é denominada de óleo em água. Se for o contrário, é denominada de água em óleo. A propriedade física mais importante de uma emulsão é a sua estabilidade. Se a emulsão for preparada a partir da homogeneização de dois componentes puros, a separação em duas fases será rápida. Para estabilizar essas emulsões é necessário utilizar um agente emulsionante. A mistura fica com aparência heterogênea. No caso da mistura álcool com diesel, a aparência é de leite condensado. Na solução, não há separação de fases e a mistura tem aparência homogênea (Emulsões, 2003).

Posteriormente, os estudos se ampliaram, abandonando-se o uso do aditivo Dalco e investigando-se vários tipos de emulsões com o uso do álcool anidro e de outros aditivos estabilizantes: AEP-102, BIO 7 e Promad 1. Também foram desenvolvidos alguns testes independentes em algumas usinas com misturas, contendo 3% de álcool anidro (AEAC) na faixa de 3% a 10% em volume, que não exigem aditivos estabilizantes (Leão, 2002).

O AEP-102 é um aditivo solubilizante da mistura álcool combustível/óleo diesel. O AEP-102 – um éster da soja – é biodegradável, despoluente e solubilizante da mistura álcool combustível/óleo diesel. É um solubilizante porque permite a homogeneização perfeita da mistura álcool/diesel, sem necessidade de equipamentos de impactação para viabilizar o processo de mistura. Basta um sistema de agitação simples (Diesel Ecológico, 2002).

A mistura de álcool etílico anidro com óleo fúsel no teor inicial de 3% foi batizada de MAD3 e recebeu em outubro de 1998 o aval do Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool. Passou a ter, então, o uso monitorado em Curitiba numa frota de ônibus. Foi também experimentada na Capital de São Paulo (Leão, 2002).

Paralelamente, desde 1998, a Copersucar iniciou teste em usinas cooperadas nas proporções de 3%, 5%, 7% e 10% de álcool anidro misturado ao diesel, sem aditivos. Os testes prosseguem até hoje, e neste artigo estão apresentados dados da mistura de 7% de álcool etílico anidro carburante (AEAC). Todos os equipamentos testados são equipados com bombas injetoras em linha e não receberam nenhuma alteração nos componentes de injeção.

No ano de 2003, o projeto Lei nº 222, de autoria do deputado Pompeo de Matos, propunha que se tornasse obrigatória a adição de álcool etílico carburante ao óleo diesel, em até 15%. Por outro lado, segundo o relator, deputado Paes Landim, no Brasil, foram realizados testes

com misturas de 3% a 11% com resultados variáveis, sendo importante destacar que em qualquer porcentual de mistura os caminhões e os ônibus dotados de bombas injetoras rotativas sofreram danos irremediáveis nesses equipamentos, que constituem o coração do motor diesel (Projeto..., 2003).

Essa observação é corroborada por Santos (2000), que também verificou ocorrências de problemas em bombas injetoras rotativas.

Laurindo (2003) afirma que testes de campo e dinamômetro mostram que as MADs (misturas álcool diesel) não devem ser utilizadas em motores cujo sistema de injeção é com bombas rotativas.

O desafio é verificar se essas misturas podem ser competitivas em termos de preço ao consumidor e ser utilizadas sem alterar o desempenho e a dirigibilidade do veículo e sem causar aumento significativo no consumo de combustível e deterioração prematura de peças e componentes do sistema de alimentação de combustível e do motor.

Até o momento, o uso ficou restrito a frotas cativas, devido à necessidade da preparação da mistura e da logística de abastecimento.

Metodologia

A determinação do tamanho da frota de teste da mistura álcool/diesel, ou seja, o número de caminhões utilizados, influencia diretamente a precisão dos resultados. Para isso adotou-se o critério de variar o tamanho da amostra até obter erro percentual menor que o coeficiente de variação das médias de consumo de combustível de todos os caminhões.

Segundo Montgomery *et al.* (2003), o erro percentual admitido em função do tamanho da amostra pode ser calculado em função da seguinte fórmula de erro:

$$\% \text{ erro} = \frac{t \times s}{\sqrt{n}}$$

em que:

t = valor na distribuição t de Student;

s = desvio-padrão da amostra;

n = número de caminhões utilizados na amostra.

O número mínimo de caminhões necessários para relevância estatística do teste realizado na Usina Catanduva foi calculado para as duas frotas canavieiras existentes na empresa (131xx e 152xx). O número indica a quantidade de amostras necessárias para utilizar a mistura e o número de testemunhas que se deve ter para a comparação dos resultados.

Os dados analisados são de uma frota de caminhões de cana-de-açúcar, trabalhando durante o período de colheita.

As comparações sempre foram feitas em períodos semelhantes, porque há significativas diferenças nas densidades de carga, pois o perfil da cana é diretamente proporcional à carga carregada por uma composição. Essa frota fica praticamente parada fora da safra de cana-de-açúcar.

A frota de caminhões de cana é a que percorre o maior número de quilômetros numa usina de açúcar e, conseqüentemente, proporciona maior velocidade à pesquisa. Além disso, possui abastecimento centralizado, facilitando o controle.

Os testes apresentados se iniciaram no ano de 1998, na empresa Virgolino de Oliveira S/A Açúcar e Álcool, conhecida como Usina Catanduva, na cidade de Ariranha, SP, e prosseguem até o momento. A mistura etanol anidro com óleo diesel é utilizada na proporção de 7%. Já há resultados de 8 safras de cana-de-açúcar.

Foram realizadas medições de consumo de combustível para comparação com a frota testemunha no intuito de avaliar a proporcionalidade entre consumo e perda energética da mistura utilizada em relação ao diesel puro.

Além disso, foram realizados cálculos de rendimento energético, que é determinado pela multiplicação da carga total transportada pelo consumo e dividido pelo número de viagens. A idéia desse cálculo foi balancear a relação carga transportada com consumo de combustível e número de viagens realizadas.

Comparou-se o consumo anual das frotas 131xx e 152xx e seus respectivos rendimentos energéticos, a fim de vincular consumo à carga transportada e evitar a relação baixo consumo com baixa carga e distorcer os resultados.

Na preparação da mistura é necessário tomar uma série de cuidados para que não haja separação de fases. Primeiramente, deve-se ter certeza de que o tanque onde ficará armazenado o combustível está isento de água. A seguir, calcula-se a quantidade de etanol anidro necessária e adiciona-se ao recipiente. Depois adiciona-se a quantidade de diesel necessária para formar a mistura. O processo é

finalizado colocando-se o combustível formado para recircular. Uma maneira de determinar o tempo de recirculação é dividindo-se a quantidade de mistura preparada em litros pela capacidade da bomba de recirculação em litros por hora.

É necessário sempre colocar o álcool antes do diesel, a fim de garantir que não haverá separação de fases.

A seguir, a Figura 1 apresenta foto do tanque atualmente utilizado na Usina Catanduva para abastecimento da frota de caminhões canavieiros que utilizam a mistura álcool/diesel.

Nos momentos iniciais do ensaio, foram retiradas amostras de óleo lubrificante para avaliação de desgaste dos motores e desempenho do lubrificante. O intuito foi verificar alguma anormalidade causada pela mistura de diesel com álcool. Foram realizadas as seguintes análises: metais (cobre, silício, alumínio, ferro, chumbo e cromo), TBN, água, viscosidade e insolúveis.

Na Usina Catanduva foram realizados ensaios para medição de opacidade do gás de escapamento, segundo a NBR 13037/1993. Este método, adotado pelos fabricantes de veículos, é realizado com o veículo parado e sem carga.

Cada série consiste em dez repetições, e o valor médio de opacidade é tomado a partir da média aritmética das sete últimas medidas, de forma a desconsiderar a fumaça acumulada no coletor de escapamento. Dentro da série de sete medidas, são consideradas quatro consecutivas, cuja diferença seja inferior a $0,25 \text{ m}^{-1}$. Foram feitas duas séries de medidas para cada caminhão, utilizando-se mistura álcool/diesel e, posteriormente, diesel puro, para comparação.

As medições de opacidade foram realizadas para caminhões utilizando misturas e depois com diesel puro, no mesmo caminhão, escolhido aleatoriamente nas frotas do teste (131xx e 152xx).

A Figura 2 mostra a foto da realização da medida de opacidade.

Finalizando, foram efetuados também levantamentos nas durabilidades nos componentes de injeção.



Figura 1 Foto do tanque utilizado para preparação e abastecimento da mistura álcool/diesel.

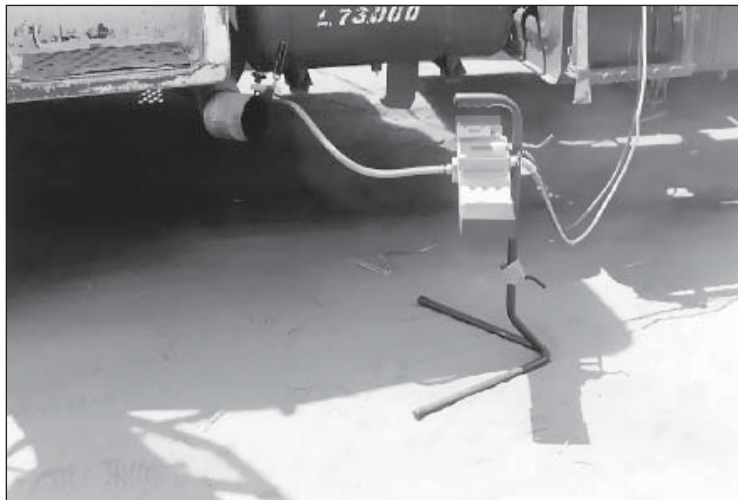


Figura 2 Medição de opacidade.

Frota	1997		1996		1995				
	km	Consumo (km/L)	km	Consumo (km/L)	km	Consumo (km/L)			
13101	82.348	65.830	1,251	53.134	57.160	0,930	44.414	42.738	1,039
13102	90.041	81.676	1,102	75.274	65.150	1.155	51.332	45.183	1,136
13103	89.415	80.622	1,109	78.280	67.813	1,154	58.995	50.396	1,171
13104	92.638	91.128	1,017	65.562	63.568	1,031	61.345	52.401	1,171
13105	77.098	67.852	1,136	82.758	71.714	1,154	73.257	63.396	1,156
13106	102.915	93.054	1,106	76.438	69.415	1,101	61.764	56.621	1,091
13107	109.811	100.632	1,091	74.394	68.394	1,088	67.051	61.894	1,083
13108	102.926	88.536	1,163	81.698	69.365	1,178	64.851	54.764	1,184
13109	98.665	89.873	1,098	78.759	71.832	1,096	71.612	66.110	1,083
13110	109.287	95.058	1,150	74.514	64.595	1,154	68.934	59.247	1,164
	955.144	854.260	1,118	740.811	669.007	1,107	623.555	552.738	1,128
n° de amostras		10		10		10		10	
Desvio-padrão		0,060		0,076		0,050		0,050	
Coefficiente									
Variação		5,4%		6,8%		4,4%			
Erro admitido (0,99)	10,1%	0,113		12,8%	0,142		8,2%	0,093	
Erro admitido (0,95)	7,0%	0,079		8,9%	0,099		5,7%	0,065	
Num. mínimo de amostras		3		3		3		3	
Erro admitido (0,99)	8,8%	0,098		11,1%	0,123		7,1%	0,081	
Erro admitido (0,95)	6,1%	0,068		7,7%	0,086		5,0%	0,056	
Num. mínimo de amostras		4		4		4		4	
Erro admitido (0,99)	7,8%	0,088		9,9%	0,110		6,4%	0,072	
Erro admitido (0,95)	5,5%	0,061		6,9%	0,077		4,4%	0,050	
Num. mínimo de amostras		5		5		5		5	
t _{0,99} (19 g.l.)		3,250							
t _{0,95} (19 g.l.)		2,262							

Figura 3 Número de caminhões necessários na frota 131xx.

Tabela 1 Análises de óleo efetuadas para caminhões com 7% de álcool (Szwarc, 2002).

Álcool 7%	Viscosidade a 40°C (mm ² /s)	Ponto de fulgor (°C)	Insolúveis (%)
13101	94,78	202	1,27
13102	92,81	202	1,07
13103	93,49	203	0,76
13110	91,49	200	1,04
13112	79,73	195	0,94
Média	90,46	200	1,02
15202	100,33	201	0,76
15205	101,39	202	1,10
15206	96,89	202	0,52
15207	101,13	204	0,79
15208	101,82	206	1,62
Média	100,31	203	0,96

Resultados

As Figuras 3 e 4 mostram as planilhas de cálculo utilizadas para a determinação do número de caminhões necessários da frota, para avaliação da mistura.

O número de amostras necessárias calculado foi de cinco caminhões para cada modelo.

Os dados obtidos com a mistura de álcool misturado ao óleo diesel foram levantados nos anos de 1998 a 2005, em dois modelos diferentes de caminhões, conforme descrito anteriormente. Os caminhões com prefixo 131xx pertencem a certa marca, enquanto os caminhões com prefixo 152xx pertencem a outra marca. Cada frota é composta por cinco unidades, a fim de obter relevância estatística, conforme mostrado anteriormente.

Nas Figuras 5, 6, 7 e 8 são mostrados gráficos de consumo e rendimento energético da mistura 7%, comparados ano a ano com o diesel puro.

Inicialmente comparou-se o consumo anual da frota 131xx e seu respectivo rendimento energético, para vincular consumo à carga transportada e evitar a relação baixo consumo com baixa carga e distorcer os resultados.

A Figura 5 mostra o gráfico do consumo anual, e a Figura 6, o rendimento energético, respectivamente, ano a ano.

A Figura 7 mostra o gráfico do consumo anual e a Figura 8, o rendimento energético, ano a ano, da frota 152xx.

A análise de óleo apresentada consiste em medição de viscosidade a 40°C (NORMA MB-326-ABNT), ponto

de fulgor (NORMA MB-50-ABNT) e sólidos insolúveis (NORMA MB-325-ABNT). As Tabelas 1 e 2 mostram as análises de óleo efetuadas.

A Tabela 3 mostra as medições de opacidade realizadas com a frota 7% de álcool misturado ao diesel e com diesel puro.

As Tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam as durabilidades de bicos injetores e bombas injetoras da frota avaliada.

O teste da mistura com 7% já atingiu 2.244.896 km na frota 131xx (448.979 km por caminhão) e 2.960.010 km (592.002 km por caminhão) na frota 152xx. Os caminhões que rodaram com diesel puro para servirem de comparação rodaram 2.353.112 km e 3.085.491 km nas frotas 131xx e 152xx, respectivamente. A média de consumo na frota 131xx com diesel puro foi de 1,09 km/L e 1,05 km/L nos caminhões que utilizaram 7% de álcool. Na frota 152xx, a média de consumo com diesel puro foi 1,14 km/L e 1,10 km/L na frota que utilizou 7% de álcool.

Em relação ao rendimento energético, os valores para a frota 131xx movida a diesel puro e a 7% de álcool são 44,1 ton.km/L e 42,2 ton.km/L, respectivamente. O número de viagens foi de 34.671 e 32.737 para o diesel puro e a mistura de 7% de álcool, respectivamente. Para a frota 152xx movida a diesel puro e a 7% de álcool, os valores de rendimento energético são 47,3 ton.km/L e 45,1 ton.km/L, respectivamente. O número de viagens foi de 41.945 e 40.357 para o diesel puro e a mistura de 7% de álcool, respectivamente. Esses caminhões são equipados com bombas injetoras em linha.

Frota	1997			1996			1995		
	km	Consumo (km/L)		km	Consumo (km/L)		km	Consumo (km/L)	
15201	106.772	93.949	1,136	85.853	71.031	1,209	45.566	36.982	1,232
15202	102.497	88.636	1,156	83.356	73.305	1,137	56.301	45.805	1,229
15203	100.695	91.874	1,096	84.806	72.316	1,173	66.163	53.279	1,242
15204	106.483	91.421	1,165	85.118	73.579	1,157	63.384	53.198	1,191
15205	101.825	94.671	1,076	82.306	74.182	1,110	55.353	52.007	1,064
15206	107.575	93.130	1,155	88.687	74.371	1,192	72.512	59.229	1,224
15207	99.815	89.477	1,116	77.788	67.358	1,155	64.559	53.687	1,203
15208	107.943	96.847	1,115	87.997	75.953	1,159	56.773	48.461	1,172
15209	113.590	97.442	1,166	88.019	75.983	1,158	68.305	54.285	1,258
15210	101.372	85.783	1,182	85.327	74.166	1,150	75.037	62.429	1,202
15211	106.641	97.501	1,094	86.818	74.162	1,171	79.044	62.560	1,263
15212	118.403	99.909	1,185	81.089	69.512	1,167	67.163	53.495	1,256
15213	95.960	91.690	1,047	80.720	77.045	1,048	66.842	61.242	1,091
15214	110.195	96.349	1,144	88.498	74.602	1,186	71.885	61.574	1,167
15215	109.202	95.358	1,145	90.287	77.936	1,158	72.596	63.534	1,143
15216	112.209	92.262	1,216	78.233	65.670	1,191	72.042	57.461	1,254
15217	103.945	88.890	1,169	97.558	77.636	1,257	79.487	63.129	1,259
15218	101.702	93.152	1,092	73.233	63.577	1,152	69.699	59.308	1,175
15219	108.932	98.958	1,101	79.274	68.456	1,158	78.793	64.290	1,226
15220	105.786	92.797	1,140	73.871	66.031	1,119	74.569	64.457	1,157
	2.121.542	1.870.096	1,134	1.678.838	1.446.873	1,160	1.356.073	1.130.412	1,200
n° de amostras		20			20			20	
Desvio-padrão		0,042			0,041			0,056	
Coefficiente									
Variação		3,5%			3,5%			4,5%	
Erro admitido (0,99)		6,1%	0,070		5,9%	0,068		7,7%	0,093
Erro admitido (0,95)		4,5%	0,051		4,3%	0,050		5,6%	0,068
Num. mínimo de amostras		3			3			3	
Erro admitido (0,99)		5,3%	0,060		5,1%	0,059		6,7%	0,080
Erro admitido (0,95)		3,9%	0,044		3,7%	0,043		4,9%	0,059
Num. mínimo de amostras		4			4			4	
Erro admitido (0,99)		4,8%	0,054		4,5%	0,053		6,0%	0,072
Erro admitido (0,95)		3,5%	0,039		3,3%	0,039		4,4%	0,052
Num. mínimo de amostras		5			5			5	
t _{0,99} (19 g.l.)		2,861							
t _{0,95} (19 g.l.)		2,093							

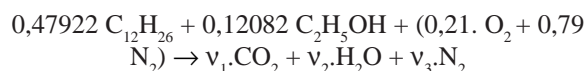
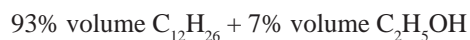
Figura 4 Número de caminhões necessários na frota 152xx.

Considerações Finais

O poder calorífico do óleo diesel é de 10.810 kcal/kg (Shell, 1991), do álcool anidro é de 7.090 kcal/kg (Shell, 1991) e as densidades são de 0,876 g/cm³ (Taylor, 1976) e 0,794 g/cm³ (Taylor, 1976), respectivamente. Efetuando-se o balanço energético, tem-se que o poder calorífico do óleo diesel é de 9.470 kcal/L e do etanol anidro é de 5.629 kcal/L. Efetuando-se os cálculos para a mistura de 7% de etanol anidro e 93% de diesel, tem-se

que o poder calorífico da mistura é de 9.201 kcal/L, sendo cerca de 2,8% inferior ao do diesel puro.

O balanço químico da mistura de 7% de álcool ao diesel é:



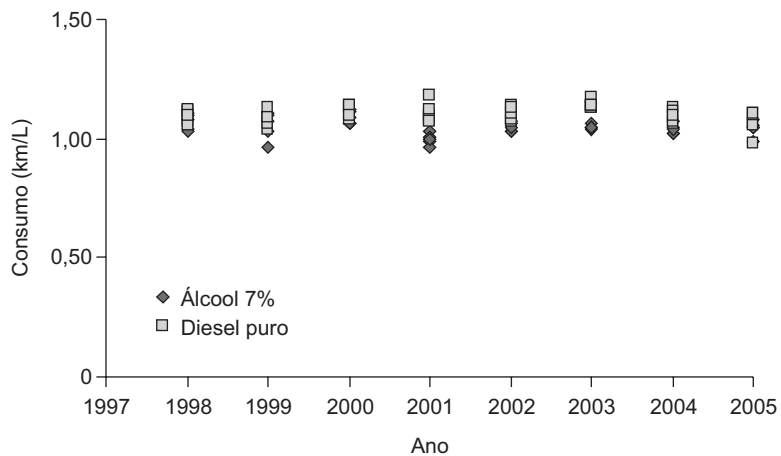


Figura 5 Gráfico relacionando consumo de combustível anual da frota 131xx.

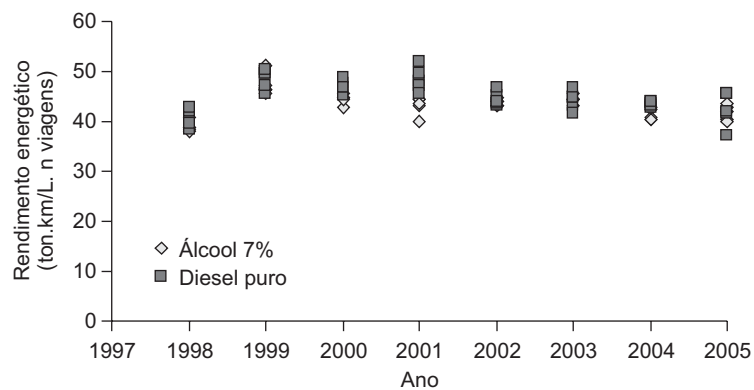


Figura 6 Gráfico relacionando rendimento energético anual da frota 131xx.

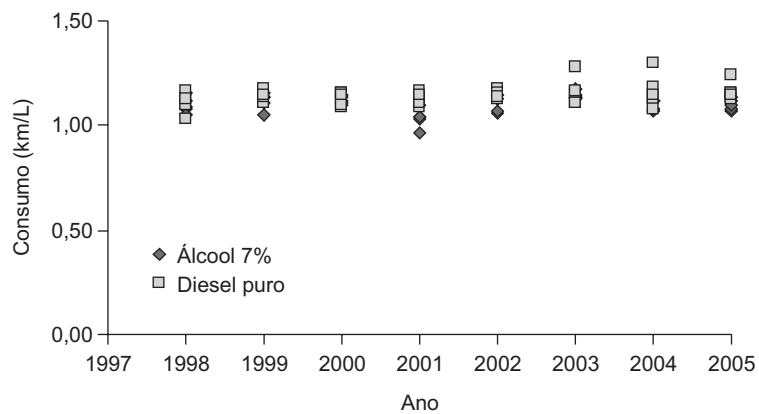


Figura 7 Gráfico relacionando consumo de combustível anual da frota 152xx.

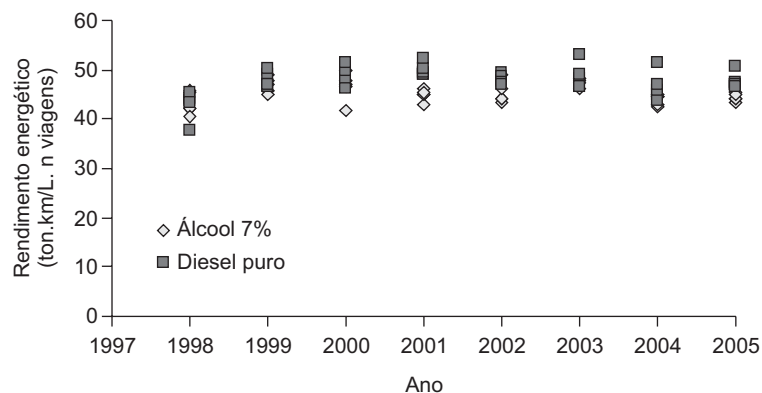


Figura 8 Gráfico relacionando rendimento energético anual da frota 152xx.

Tabela 2 Análises de óleo efetuadas para caminhões que utilizam diesel puro (Szwarc, 2002).

Diesel puro	Viscosidade a 40°C (mm ² /s)	Ponto de fulgor (°C)	Insolúveis (%)
13105	91,71	201	1,4
13106	91,92	203	0,9
13107	91,91	206	0,64
13108	90,69	204	1,2
13109	90,55	205	0,76
Média	91,35	204	0,98
15210	100,7	206	0,98
15211	97,71	203	1,21
15212	100,13	202	0,96
15213	98,39	202	0,68
15214	98,92	204	1,12
Média	100,31	204	0,99

Tabela 3 Medições de opacidade realizadas na frota de 7% de álcool (Dodi, 2000).

Frota	Diesel puro (m ⁻¹)	Mistura 7% (m ⁻¹)	Redução (%)
13102	0,59	0,32	46
13110	1,19	0,60	50
15202	2,25	1,20	47
15207	2,83	1,60	43
		Média	46

Tabela 4 Durabilidade de bicos injetores na frota 131xx.

Bicos injetores – Frota 131xx	Nº casos	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão (%)
Caminhões com mistura	15	66.064	44.598	67,5
Caminhões sem mistura	22	54.778	27.883	50,9

Tabela 5 Durabilidade de bombas injetoras na frota 131xx.

Bombas injetoras – Frota 131xx	Nº casos	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão (%)
Caminhões com mistura	9	85.208	55.130	64,7
Caminhões sem mistura	7	116.030	21.061	18,2

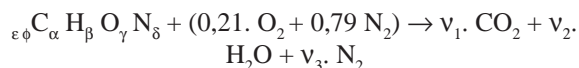
Tabela 6 Durabilidade de bicos injetores na frota 152xx.

Bicos injetores – Frota 152xx	Nº casos	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão (%)
Caminhões com mistura	19	77.799	54.450	70,0
Caminhões sem mistura	13	101.040	54.619	54,1

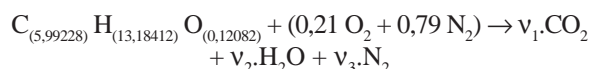
Tabela 7 Durabilidade de bombas injetoras na frota 152xx.

Bombas injetoras – Frota 152xx	Nº casos	Média	Desvio-padrão	Erro-padrão (%)
Caminhões com mistura	6	82.290	22.745	27,6
Caminhões sem mistura	13	143.617	87.501	60,9

Segundo Ferguson (1986), a reação estequiométrica da combustão completa, quando só obtém como subprodutos dióxido de carbono e água, pode ser escrita da seguinte maneira:



A fórmula genérica da mistura de 7% de etanol é:



A relação ar/combustível é calculada pela fórmula seguinte, segundo Ferguson (1986):

$$\frac{A}{C} = \frac{28,85}{0,21} \frac{(\alpha + 0,25\beta - 0,5\gamma)}{(12,01\alpha + 1,008\beta + 16,\gamma + 14,01\delta)}$$

Desta forma, a relação ar/combustível do diesel puro ($C_{12}H_{26}$) fica em 14,92/L, enquanto a da mistura de 7% de álcool fica em 14,54/L, sendo cerca de 2,5% inferior ao do combustível puro.

A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar:

1) A diferença de consumo ficou em 3,67% na frota 131xx e 3,51% na frota 152xx, enquanto a diferença de rendimento energético ficou em 4,30% na frota 131xx e 4,65% na frota 152xx. Os valores de consumo e rendimento energético encontrados com os caminhões que utilizaram a mistura excederam a diferença de poder calorífico, que foi cerca de 2,8% inferior ao do diesel

puro. Levando-se em consideração essa perda de poder calorífico, quando comparada ao diesel puro, o aumento de consumo e a perda de rendimento energético das frotas estudadas ficaram dentro da margem de erro. Isso indica que não houve perda significativa de rendimento do motor.

- 2) Após avaliar detalhadamente as análises de óleo lubrificante durante os anos de 1998 e 1999, os resultados mostraram que, estatisticamente, não havia diferença significativa entre os caminhões que utilizam diesel puro e álcool misturado ao diesel. Então decidiu-se não mais fazer as análises detalhadas de óleo, mantendo-se apenas as rotineiras. Como não houve diferenças significativas estatisticamente, esses dados foram coletados somente até o ano de 2001, quando os caminhões deixaram de ser analisados separadamente, voltando a ser analisados com o mesmo critério do restante da frota da empresa. Não foi percebida nenhuma diferença de consumo de óleo lubrificante entre as frotas que utilizam a mistura, comparadas com as frotas que utilizaram óleo diesel puro.
- 3) Há diminuição na emissão de particulados quando se substitui parcialmente o diesel por álcool. A redução foi considerável, sendo superior a 40%.
- 4) Até o presente momento não apresentaram diferenças significativas de durabilidade dos componentes de injeção quando comparados aos caminhões que utilizam diesel puro, porém, não houve consistência estatística dos dados levantados.

Para ratificar a afirmação anterior, estudo apresentado no 5º Seminário sobre Qualidade e Uso de Combustíveis- Óleo Diesel e Gás Metano Veicular mostra que as peças metálicas que compõem a bomba injetora (carcaça, elemento, válvula de pressão, anel de vedação metálico, porta-válvula e mola PV) mantiveram-se praticamente imunes à ação do diesel, das emulsões diesel/álcool hidratado e da mistura diesel/álcool anidro (Vilela, 1999).

- 5) Devido à complexidade na preparação e à dificuldade de compra do álcool anidro, a mistura acaba sendo viável apenas para frotas cativas.
- 6) Para conclusão dos testes, seria interessante realizar testes em dinamômetro a fim de medir potência e consumo específico para comparação entre os combustíveis analisados.
- 7) O balanço químico e o balanço energético teriam de ser idênticos, porém, no balanço energético utilizou-se o poder calorífico do óleo diesel comercial, enquanto no balanço químico utilizou-se o óleo diesel leve.

Referências Bibliográficas

- BRASIL. *Projeto de Lei Nº 222 de 2.003*. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/sileg/integras/231023.htm>. Acesso em: 27 fev. 2006.
- DABDOUB, M. J. *Uso de novos combustíveis permitirá a redução das importações de diesel em no mínimo 33%*. Disponível em: http://www.dabdoub-labs.com.br/artigo_agencia_multi.htm. Acesso em: 14 mar. 2006.
- DIESEL ECOLÓGICO. 2002. Disponível em: <http://www.inventabrasil.hpg.ig.com.br/yquimic.htm>. Acesso em: 26 jan. 2003.
- DODI JR., C.; TUFAILE NETO, M.; BEM, A. J. D.; KOIKE, G. H. A.; MELLO, M. O. Testes de misturas etanol/diesel em usinas de açúcar (diesel/ethanol blends fleet tests in Brazilian ethanol/sugar mills). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ALCOHOL FUELS, 13., 2000, Estocolmo. 9 p.
- EMULSÕES. *Teoria básica*. 2003. Disponível em: <http://pcserver.iqm.unicamp.br/~wloh/exp2/xp2.htm#teoriabasica>. Acesso em: 22 jan. 2003.
- FERGUSON, C. R. *Internal combustion engines applied thermosciences*. New York: John Wiley & Sons Inc, 1986. p. 108.
- KOIKE, G. H. A. *Análise, desenvolvimento e ensaio de um dispositivo experimental para fornecer álcool etílico hidratado como segundo combustível para motores do ciclo diesel*. 2003. 111 f. Dissertação (Mestrado) – USP, São Carlos.
- LAURINDO, J. C. *Combustíveis alternativos no Tecpar e UFPR*. Paraná: UFPR, 2003. Disponível em: <http://www.tecpar.br/cerbio/Palestras/07-D-Jose%20C%20Laurindo%20-%20Combustiveis...pdf#search='aditivos%20mistura%20alcool%20diesel>. Acesso em: 19 mar. 2006.
- LEÃO, R. M. *Álcool, energia verde*. Embu: Igual, 2002. p. 224-225.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. Rio de Janeiro: LivrosTécnicos e Científicos, 2003. 463 p.
- SHELL. *Informações técnicas de lubrificantes Shell*. 1991. p. 174.
- SANTOS, A. S.; VALLE, M. L. M.; GIANNINI, R. G. A. *Experiência brasileira no desenvolvimento de um combustível binário álcooldiesel*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2000. Disponível em: <http://ecen.com/eee20/adailson.htm>. Acesso em: 26 fev. 2006.
- SZWARC, A.; BEM, A. J.; KOIKE, G. H. A.; LEAL, M. R. L. V. Testes de misturas etanol/diesel em usinas de açúcar (Diesel/ethanol blends fleet tests in Brazilian ethanol/sugar mills). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ALCOHOL FUELS, 14., 2002, Tailândia. 6 p.
- TAYLOR, C. F. *Análise dos motores de combustão interna* Vol I. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. p. 53.
- VILELA, T.; SOUZA, S.; FERREIRA, O.; SMALL, A.; BONELLI, R.; CAVALCANTI, E. Compatibilidade de materiais e peças automotivas com misturas álcool & diesel. In: SEMINÁRIO SOBRE QUALIDADE E USO DE COMBUSTÍVEIS – ÓLEO DIESEL E GÁS METANO VEICULAR, 5., 1999, Rio de Janeiro. 10 p.