

DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO



## Avaliando o potencial de inserção do diesel de cana na frota de ônibus urbano do município do Rio de Janeiro

**Luíza Santana Franca**

*Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica  
E-mail: luizasfranca@poli.ufrj.br*

**Márcio de Almeida D'Agosto**

*Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto Alberto  
Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em  
Engenharia (COPPE)  
E-mail: dagosto@pet.coppe.ufrj.br*

Em todo o mundo, o transporte responde pelo consumo de mais de 50% dos derivados de petróleo (IEA, 2010). No Brasil, em 2009, aproximadamente 87% das viagens realizadas por modos coletivos de transporte de passageiros ocorreu por meio de ônibus movidos a óleo diesel de petróleo (ANTP, 2009). Esta movimentação foi responsável pela emissão de 27,8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (MMA, 2011). Visando minimizar os impactos ambientais causados pelo uso de derivados de petróleo no transporte e ao mesmo tempo ampliar a segurança energética da nação, o país avança na busca por novas alternativas energéticas ao óleo diesel de petróleo.

Em particular, destacam-se os biocombustíveis (biodiesel produzido a partir de óleos vegetais e sebo bovino e óleo diesel produzido a partir da cana de açúcar), que podem ser utilizados associados ou não ao óleo diesel de petróleo. No Brasil, o biodiesel já possui tecnologia consolidada e vantagens e desvantagens conhecidas. Já o diesel de cana apresenta-se como uma nova alternativa energética que possui potencial de redução de emissão de dióxido de carbono em até 90% (Amyris, 2012), se considerada toda a cadeia produtiva. Por ser um hidrocarboneto, o diesel de cana apresenta vantagem em relação a outras fontes alternativas de energia, pois não requer alteração mecânica nos motores. Porém, por depender do uso de tecnologia em desenvolvimento para sua produção, ainda não se conhece a real viabilidade da sua adoção.

A partir de resultados de testes de campo realizados por 12 meses com uma frota de 40 ônibus, foi possível estabelecer a equivalência de desempenho energético entre o B5, mistura de 5% de biodiesel e 95% de óleo diesel de petróleo (S50), combustível utilizado em todo



www.antp.org.br

o território nacional, e o AMD30, mistura de 30% de diesel de cana e 70% de B5. Com isso, custos adicionais e os benefícios ambientais pelo uso do AMD30 foram estimados, possibilitando a avaliação do potencial de sua inserção como combustível na frota de ônibus do município do Rio de Janeiro.

Destaca-se que este trabalho está alinhado com aos princípios da Lei nº 12.587 (Política Nacional de Mobilidade Urbana) que, em seu artigo 5º, § II, preconiza o desenvolvimento sustentável das cidades e, em seu artigo 6º, §§ IV e V, apresenta como diretrizes a mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades e o incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes para atingir o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável e a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades (artigo 7º, § IV).

A partir desta introdução, este trabalho divide-se em três itens. O primeiro item apresenta os testes de campo para uso de diesel de cana em ônibus, onde são apresentadas a caracterização dos testes e os seus resultados. O segundo item trata do potencial de inserção do diesel de cana como combustível na frota de ônibus do município do Rio de Janeiro, por meio da avaliação do acréscimo no custo operacional em comparação com a redução das emissões de poluentes atmosféricos locais regulamentados e dióxido de carbono, principal gás de efeito estufa. No terceiro item, são apresentadas as conclusões do trabalho, suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

### TESTES DE CAMPO PARA USO DO DIESEL DE CANA

O diesel de cana é um hidrocarboneto com cadeia de 15 carbonos (C15), produzido a partir do biofene e com propriedades químicas semelhantes ao diesel de petróleo, o que permite que seja utilizado, puro ou misturado, em praticamente qualquer motor a diesel sem alteração mecânica. Porém, por depender do uso de tecnologia em desenvolvimento para sua produção, ainda não se conhece o potencial de inserção deste combustível alternativo no mercado. Neste sentido, o uso do diesel de cana em frota de ônibus urbanos no município do Rio de Janeiro foi avaliado através da realização de testes de campo que buscaram estabelecer parâmetros de desempenho que ajudassem a suprir este lacuna.

### Caracterização dos testes

Foi avaliado o desempenho comparativo, ao longo de 12 meses (fevereiro/2012 a janeiro/2013), entre uma frota de 20 ônibus urbanos utilizando uma mistura de 70% de B5 (diesel B\_S50 – 50 ppm de enxofre

e 5% de biodiesel conforme Resolução ANP 65/2011 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis e normativa CNPE 06/2009 do Ministério de Minas e Energia) e 30% de diesel de cana (AMD30) e uma frota similar de ônibus urbanos utilizando mistura de 95% de óleo diesel de petróleo e 5% de biodiesel (B5).

A frota de ônibus urbanos considerada é composta de 40 ônibus urbanos tipo I (motor dianteiro, transmissão mecânica, suspensão por molas, carroceria com duas portas e capacidade para 80 passageiros) com chassi OF-1722LA (Mercedes Benz), sendo 28 veículos do ano/modelo 2011/2011 e 12 do ano/modelo 2011/2012. Estes veículos possuem carroceria da marca/modelo Marcopolo/Torino (21 veículos) e Caio/Apache VIP (19 veículos) e devem atender aos limites de emissão estabelecidos pelo Proconve 5 (P5).

Os veículos em teste atuam na linha 409 (linha regular, Saens Pena - Jardim Botânico (Horto) que parte da praça Gabriel Soares, na Tijuca, passando pelos bairros do Estácio, Lapa, Flamengo e Botafogo, chegando à rua Othon Bezerra de Melo, no Jardim Botânico, com distância aproximada de 23,2 km (ida) e 21,4 km (volta) e na linha 125 (linha circular, Central - Praça General Osório, partindo do terminal de trem da Central do Brasil, no centro da cidade do Rio de Janeiro, em direção à praça General Osório, em Ipanema, passando pela Lapa, aterro do Flamengo e Copacabana e apresentando um percurso com distância de 25,8 km (ida) e 17,4 km (volta).

Para a comparação dos veículos abastecidos com AMD30 e B5 o presente estudo considerou como medidas de desempenho o rendimento do combustível (km/l), o consumo específico do combustível (l/pass.km) e a opacidade dos gases de escapamento dos motores ( $m^{-1}$ ) e como atributos de desempenho, o desempenho dos veículos, a operação e manutenção dos veículos em teste, a análise do óleo lubrificante do motor, a caracterização dos combustíveis AMD30 e AMD100 e o teste de durabilidade do motor.

O rendimento do combustível, em km/l, foi obtido com base na relação entre a quilometragem que cada veículo rodou entre abastecimentos e o volume abastecido em cada veículo. O consumo específico considerou a relação entre o consumo médio (l/km) e a média de passageiros por viagem (l/pass.km). A medição da opacidade dos gases de escapamento dos motores foi realizada mensalmente em cada um dos veículos em estudo, conforme norma NBR 13037 da ABNT. Como limite de opacidade considerou-se  $1,7 m^{-1}$ , conforme Resolução Conama 251/1999.

O desempenho dos veículos foi analisado em dois veículos (um utilizando AMD30 e outro utilizando B5) a partir da rotação do motor, do



www.antp.org.br

torque e da utilização de marchas para cada um dos dois veículos monitorados ao longo de aproximadamente dois meses por meio de equipamentos de medição embarcados. Este teste foi realizado pelo fabricante do chassi dos veículos (Mercedes-Benz do Brasil Ltda).

A operação e a manutenção da frota utilizada no teste foram constantemente monitoradas pela empresa operadora das linhas, que reportou os casos de paradas, defeitos e necessidade de manutenção dos veículos que compõem a frota em estudo quando estes ocorrem. Ela foi a responsável pela medição e coleta dos dados de volume abastecido de combustível, distância percorrida entre abastecimentos, viagens realizadas por veículo por dia, passageiros transportados por veículo por dia e apontamento quanto a ocorrências notáveis de operação e manutenção dos veículos em teste.

A análise do óleo lubrificante do motor dos veículos em teste foi realizada por meio de amostras coletadas dos motores de oito veículos da frota utilizada no teste, sendo quatro veículos utilizando AMD30 e quatro veículos utilizando B5. A análise do óleo lubrificante foi realizada por conta do fabricante do chassi dos veículos. Os mesmos veículos tiveram seus motores acompanhados para a realização do teste de durabilidade dos motores que também foi realizado pela fabricante do chassi dos veículos.

A caracterização das amostras do combustível AMD100 e da mistura AMD30 foi realizada pelo Centro de Pesquisas e Caracterização de Petróleo e Combustíveis da Coppe/UFRJ (CoppeComb). O tratamento e a análise dos dados foram realizados pelo Programa de Engenharia de Transportes (PET) da Coppe/UFRJ com o apoio do CoppeComb.

## Resultados

Para que se possa alcançar a abrangência do teste, a tabela 1 apresenta os valores acumulados de consumo de combustível e quilometragem percorrida pelos veículos.

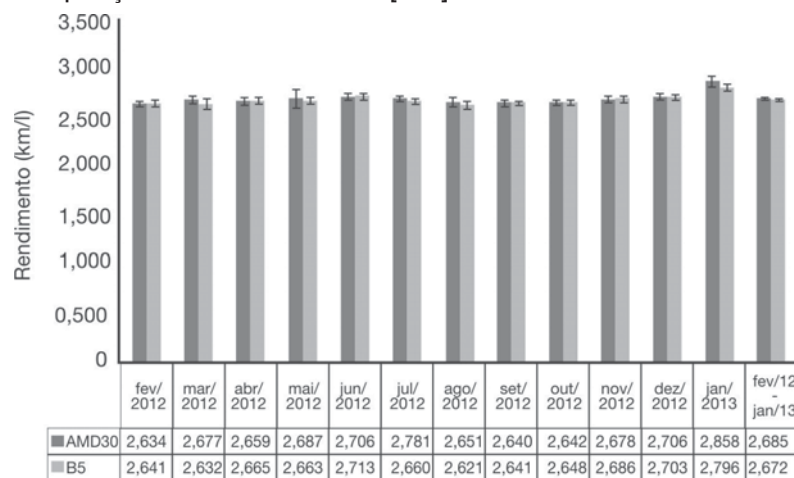
**Tabela 1**  
**Abrangência dos testes**

Volume total de B5 [l]	599.086,64
Volume total de AMD30 [l]	587.488,56
Volume total de AMD100 [l]	176.246,57
Quilometragem total da frota consumindo B5 [km]	1.595.178,05
Quilometragem total da frota consumindo AMD30 [km]	1.567.418,25
Quilometragem total do teste [km]	3.162.596,30

Fonte: Elaboração própria.

A figura 1 apresenta o rendimento médio mensal e acumulado dos combustíveis testados. Em seis das 12 situações analisadas, o rendimento do AMD30 mostrou-se ligeiramente superior ao do B5, com incerteza estatística inferior a 2% para o nível de confiança de 95%. A melhoria de rendimento foi de 1,71% em março, 0,91% em maio, 0,79% em julho, 1,16% em agosto, 0,13% em dezembro e 2,21% em janeiro de 2013. Nos meses de fevereiro, abril, junho, setembro, outubro e novembro o rendimento do AMD30 foi inferior ao do B5 em 0,27%, 0,21%, 0,24%, 0,02%, 0,23% e 0,30%, respectivamente. Se considerados os resultados acumulados de fevereiro de 2012 a janeiro de 2013, verifica-se que o rendimento do AMD30 mostrou-se 0,49% maior do que o do B5.

**Figura 1**  
Comparação do rendimento médio [km/l]



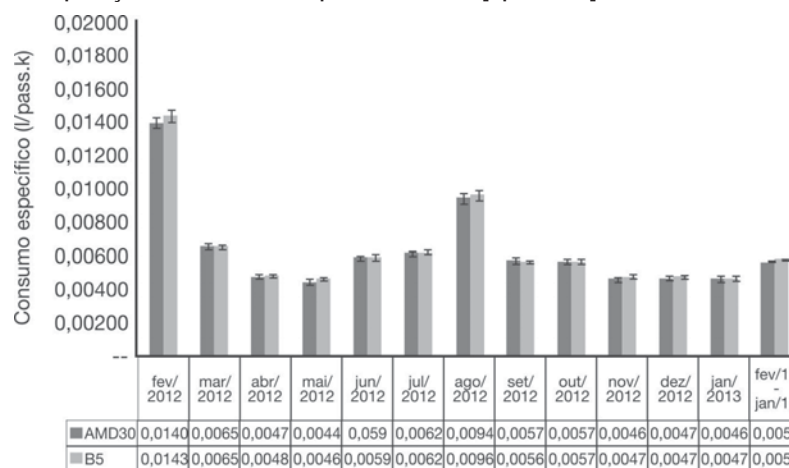
Legenda: Barras representam as média dos resultados; |—| : representa a incerteza expandida da média a 95% de confiança.

Fonte: PET/Coppe/UFRJ, 2013.

A figura 2 apresenta o resultado do consumo específico (l/pass.km) mensal e acumulado. Verifica-se que os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram, no período, menor consumo específico (l/pass.km) (-1,95%) do que os veículos abastecidos com B5, resultado obtido com incerteza estatística inferior a 1% para confiança estatística de 95%.



**Figura 2**  
Comparação do consumo específico médio [l/pass.km]



Legenda: Barras representam as média dos resultados; |—| : representa a incerteza expandida da média a 95% de confiança.

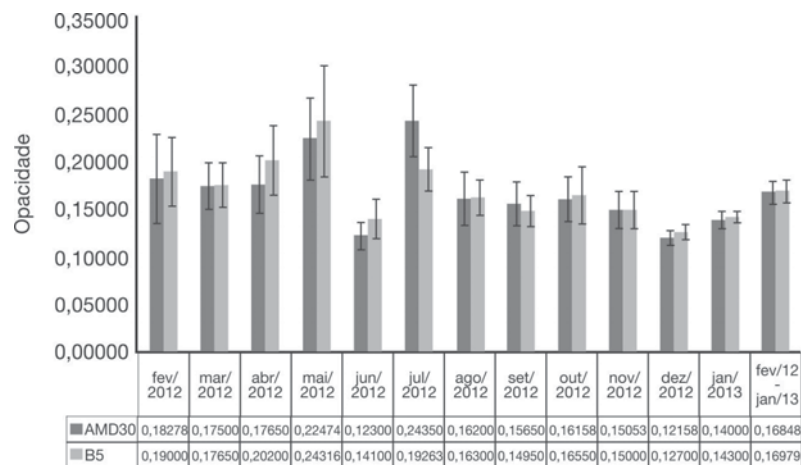
Fonte: PET/Coppe/UFRJ, 2013.

Verificou-se que o rendimento [km/l] apresentou pouca variação ao longo do período de teste ( $\pm 3,23\%$  para o B5 e  $\pm 3,92\%$  para o AMD30) e esta variação ocorreu de forma consistente, aumentando ou diminuindo para os dois combustíveis simultaneamente, o que ratifica a distribuição dos resultados apresentados e reforça a significância da média e do seu intervalo de variação.

A partir da figura 3 é possível verificar que, em relação à leitura de opacidade, tanto os veículos abastecidos com AMD30 como os veículos abastecidos com B5 apresentaram resultados, em média, 89% menores do que o limite regulamentado de  $1,7 \text{ m}^{-1}$ . Os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram valores de opacidade, em média, 0,77% menores do que os abastecidos com B5 para o período de fevereiro de 2012 a janeiro de 2013, com exceção dos meses de julho, setembro e novembro, em que a opacidade medida para os veículos abastecidos com AMD30 foi 26,41%, em julho, 4,68%, em setembro e 0,35% em novembro, superiores que à apresentada pelos veículos abastecidos com B5. Para os dados acumulados referentes aos veículos abastecidos com AMD30, em função do tamanho da amostra ( $n = 230$ ), os resultados foram obtidos com incerteza estatística de 5,30% para nível de confiança de 95%. No caso dos veículos abastecidos com B5, para os dados

acumulados e em função do tamanho da amostra ( $n = 237$ ), os resultados foram obtidos com incerteza estatística de 5,03% para nível de confiança de 95%. Todos os valores obtidos são inferiores ao máximo permitido de  $1,7 \text{ m}^{-1}$ .

Figura 3  
Comparação da opacidade média [ $\text{m}^{-1}$ ]



Legenda: Barras: representam as média dos resultados; |—|: representa a incerteza expandida da média a 95% de confiança.

Fonte: PET/Coppel/UFRJ, 2013.

As amostras de AMD30 mostraram-se conformes em todas as suas características, excetuando-se a massa específica que apresentou-se com valores limítrofes ou, em alguns casos, ligeiramente abaixo daqueles especificados pela ANP ( $>820 \text{ mg/m}^3$ ). Como ponto positivo na adição do AMD à mistura B5 pode-se citar um aumento no número de cetano, proveniente, possivelmente, de ser um hidrocarboneto de cadeia saturada e linear (C15H32). O produto possui também baixo teor de enxofre, o que atualmente quase não influencia no teor da mistura, pois os valores de enxofre do diesel de petróleo estão bastante reduzidos. Estes resultados confirmam a possibilidade de utilização de diesel de cana em mistura de até 30% em volume ao B5, de modo a manter o produto com características que obedeçam aos limites estabelecidos na legislação vigente.

Os resultados da análise de óleo lubrificante para as 49 amostras retiradas (23 de veículos que utilizaram B5 e 26 de veículos que utilizaram AMD30) mostram que sete amostras oriundas de veícu-

los que utilizaram B5 e 14 de veículos que utilizaram AMD30 obtiveram resultado “bom” e oito amostras de veículos que utilizaram B5 e uma de veículo que utilizou AMD30 obtiveram resultado “atenção”, quando apresentaram possíveis contaminações das amostras. Porém, não houve relacionamento da contaminação do óleo lubrificante com a utilização de AMD30 e, sim, com problemas no sistema de admissão dos motores e na sistemática de coleta das amostras. Dentre as recomendações indicadas para reverter os problemas encontram-se: verificação e limpeza dos filtros de ar; verificação e vedação de conexões e mangueiras do sistema de admissão de ar e demais pontos de contaminação externa; substituição do óleo lubrificante, tomando a precaução de efetuar uma limpeza no compartimento antes do enchimento com óleo novo; verificação do tempo de uso informado para o óleo lubrificante e a verificação dos procedimentos de coleta de amostras e reposição de nível do óleo lubrificante.

Os resultados do teste de desempenho dos veículos não mostraram diferenças nos torques, potências, taxa de aceleração em retomada e velocidade final que pudessem evidenciar um desempenho diferenciado para os veículos que utilizaram B5 daqueles que utilizaram AMD30. A operação e manutenção da frota testada foram monitoradas pela empresa operadora das linhas, que não relatou qualquer ocorrência relevante de operação ou manutenção que pudesse ser associada ao uso de AMD30. Verifica-se que os motores dos sete veículos inspecionados ao final do teste, tanto operando com AMD30 ou com B5 apresentaram boas condições de conservação, sem anomalias ou danos, de modo que, para estes casos, o uso de AMD30 não causou alterações na durabilidade do motor quando comparado com os que utilizaram B5.

Em função dos resultados dos testes pode-se considerar que o uso de AMD30 apresenta resultados equivalentes ao uso de B5 no que se refere ao rendimento energético [ $\text{km/l}$ ], consumo específico de combustível [ $\text{l/pass.km}$ ], opacidade [ $\text{m}^{-1}$ ] e desempenho dos veículos. Não se verificou condição de desgaste dos motores e demais componentes do sistema de admissão, alimentação e transmissão que justificasse a consideração de acréscimo no seu custo de manutenção. Com base nestes resultados foi possível estabelecer o potencial de uso do AMD30 na frota total de ônibus urbano do município do Rio de Janeiro.

#### POTENCIAL DE INSERÇÃO DO AMD30 NA FROTA DE ÔNIBUS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

O sistema de transporte urbano por ônibus do município do Rio de Janeiro atende a 6,4 milhões de passageiros pagantes por dia e dis-



www.antp.org.br

põe de uma frota de 6.759 ônibus urbanos que rodam em média 269 km/dia correspondendo a um total de 8.070 km/mês (Fetranspor, 2012). Em 2012, houve a renovação de 6,1% da frota e o registro de idade média de 4,2 anos.

De acordo com os dados obtidos, foram analisados os impactos do uso da mistura de diesel de cana AMD30, no custo operacional e nas emissões de poluentes atmosféricos locais regulamentados (CO, NO<sub>x</sub>, HC e MP) e na emissão de CO<sub>2</sub>, principal gás de efeito estufa.

Sendo o diesel de cana um hidrocarboneto na forma de substância pura (C15), se produzido dentro das especificações, este pode ser considerado um sucedâneo ideal do diesel de petróleo, podendo ser empregado sem que seja necessário realizar qualquer modificação no veículo projetado para uso de diesel de petróleo ou, no caso brasileiro, de B5. Nos testes de campo, ao longo de 12 meses de uso de AMD30, não se verificou qualquer tipo de problema mecânico que pudesse ser associado ao uso do diesel de cana. Logo, a única variação de custo operacional associada ao uso do diesel de cana reside na diferença do preço deste combustível em relação ao B5.

Com base na equação 1, calcula-se o custo da mistura AMD30, levando-se em consideração o valor percentual do diesel de cana adicionado ao B5.

$$PAMD X = B5 * PB5 + (1 - B5) * PAMD100 \quad (1)$$

onde: PAMD X: preço do AMDX [R\$/l]  
B5: percentual de B5 utilizado [%]  
PB5: preço do B5 [R\$/l]  
PAMD100: preço do diesel de cana [R\$/l]

Como o diesel de cana ainda se encontra em desenvolvimento e não possui preço de mercado definido, admite-se que, no futuro, haverá escala de produção semelhante a do biodiesel na atualidade e preço de venda similar. Para o valor de R\$ 3,00 por litro para o biodiesel (B100) e de R\$ 1,80 por litro para o B5, considerou-se o valor de R\$ 3,42 por litro para o AMD100, seguindo as premissas estabelecidas em Fetranspor (2012) quanto à equivalência de preço entre biodiesel e diesel de cana.

Para a determinação do custo total de operação, considerou-se a sistemática utilizada em Fetranspor (2012), estabelecida a partir da metodologia do Geipot. Considerando valores de rendimento energético para o B5 e o AMD30 oriundos do teste de campo e o preço dos combustíveis como estabelecido anteriormente, obteve-se um acréscimo de 16% nos custos operacionais variáveis, que impactou em



www.antp.org.br

5,19% nos custos totais de operação do veículo (R\$ 0,178 por km) pelo uso do AMD30.

Como as emissões de poluentes atmosféricos regulamentados não foram medidas no teste de campo, utilizaram-se os fatores de emissão da tabela 2 para estimar a emissão total de poluentes atmosféricos locais e dióxido de carbono para a frota do município do Rio de Janeiro.

**Tabela 2**  
**Fatores de emissão de poluentes atmosféricos**

Combustível	Fatores de emissão (FE)				
	(g/km)			(kg/l)	
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	MP	CO <sub>2</sub>
B5 <sup>(1)</sup>	1,44	0,3	8,2	0,148	2,67
AMD30 <sup>(2)</sup>	1,30	0,28	7,59	0,14	1,87

Nota:

(1) Os fatores de emissão para o B5 foram considerados como iguais à da frota de ônibus do Rio de Janeiro para o ano de 2010, quando se considera que havia veículos com tecnologia de controle de emissões menos restritiva ou igual ao Proconve 5;

(2) Com base nos dados obtidos junto ao fabricante de diesel de cana, obteve-se o percentual de redução de emissão de poluentes locais com o uso de AMD30 se comparado ao B5.

Fonte: Amyris (2011) e Souza et al. (2012).

A partir das equações 2 e 3 estimou-se a emissão mensal de poluentes atmosféricos locais regulamentados e CO<sub>2</sub>.

$$E = (FE * KM * N) / 1.000 \quad (2)$$

onde: E: emissão dos poluentes locais [kg/mês]  
FE: fator de emissão [g/km]  
km: quilometragem mensal por veículo [km/mês]  
N: tamanho da frota [nº veículos]

$$ECO_2 = FE * KM * N * C \quad (3)$$

onde: ECO<sub>2</sub>: emissão de CO<sub>2</sub> [kg/mês]  
FE: fator de emissão CO<sub>2</sub> [kg/l]  
km: quilometragem mensal por veículo [km/mês]  
N: tamanho da frota [nº veículos]  
C: consumo de combustível [l/km]

A partir das considerações anteriores, a tabela 3 apresenta os resultados obtidos quanto à introdução do AMD30 como combustível na frota de ônibus no município do Rio de Janeiro. Observa-se o potencial de redução de emissão de aproximadamente 42 toneladas de poluentes locais regulamentados por mês, dos quais a maior participação se refere ao NO<sub>x</sub> (79%). Estima-se ainda a redução da emissão de mais de 16,5 mil toneladas de CO<sub>2</sub> e a economia de mais de 98

metros cúbicos de B5 por mês. Porém, em função do acréscimo no custo operacional pela diferença de preço entre o AMD30 e o B5 (26,39%), estima-se um elevado acréscimo de custo operacional por mês (de cerca de R\$ 9,6 milhões).

Assim sendo, para que se aproveite os benefícios ambientais decorrentes do uso do diesel de cana na frota de ônibus do município do Rio de Janeiro será necessário que sua produção aumente em escala e eficiência produtiva a ponto de suplantarem a diferença de preço que se verifica com o B5, ou que se avaliem outros mecanismos, como créditos de carbono, redução de impostos e internalização dos custos sociais, que minimizem o aumento de custo pelo uso do AMD30.

Em função dos números apresentados, a tonelada de carbono precária seria negociada a cerca de US\$ 270 para superar o acréscimo de custo operacional imposto pelo uso do AMD30. O valor praticado atualmente varia entre US\$ 5 e US\$ 16. Mesmo que se praticasse isenção total de imposto sobre a propriedade de veículos automotores (IPVA) para a frota de ônibus do Rio de Janeiro, o valor economizado seria de cerca de R\$ 1,5 milhão, pouco mais de 16% do acréscimo do custo operacional (Fetranspor, 2012).

Quanto à internalização dos custos sociais causados pela poluição atmosférica dos transportes no município do Rio de Janeiro, o valor economizado seria de R\$ 76.346.242,41, sendo R\$ 39.844.384,44 correspondentes à população economicamente ativa e R\$ 36.501.857,97 à população não economicamente ativa (Cunha, 2011). Esse custo corresponde aos gastos anuais associados à poluição atmosférica com doenças respiratórias para população, considerando o valor dos salários dos dias de trabalho perdidos devido às doenças respiratórias ocasionadas pela poluição atmosférica e os gastos com morbidade hospitalar. Portanto, os gastos internalizados com saúde pública provocados pela poluição atmosférica somariam o valor economizado de cerca de R\$ 6,3 milhões por mês, correspondendo a pouco mais de 65% do acréscimo do custo operacional.

Por outro lado, mesmo que o acréscimo do custo operacional não seja completamente absorvido pela promoção da redução dos impostos e da economia com gastos na saúde pública, o uso do diesel de cana permitirá a redução do uso de óleo diesel, dada sua porcentagem menor na mistura de diesel de cana em conjunto com o biodiesel do B5. A utilização cada vez maior desse combustível promoverá um aumento da segurança energética devido à redução da dependência da exploração e importação de petróleo para suprir a demanda energética cada vez maior.



**Tabela 3**  
**Resultados obtidos quanto a introdução do AMD30 na frota de ônibus no município do Rio de Janeiro**

Combustível	Consumo de Combustível variável (l/km)	Custo variável (R\$/km)	Quilometragem por veículo (km/mês)	Frota do município do Rio de Janeiro (veículos) <sup>1</sup>	Emissão (t/mês)				Combustível l/mês	Custo variável R\$/mês*10 <sup>6</sup>	
					CO	HC	NO <sub>x</sub>	MP			CO <sub>2</sub>
B5	0,374	R\$ 1,11	8.070	6.759	78,54	16,36	447,27	8,07	54.504,30	20.413.596,56	R\$ 60,60
AMD30	0,372	R\$ 1,29	8.070	6.759	70,92	15,25	414,23	7,84	37.968,29	20.314.759,78	R\$ 70,29
				Varição	-7,62	-1,12	-33,03	-0,22	-16.536,01	-98.836,78	R\$ 9,60

1. Para efeito de estimativa, considera-se que todos os ônibus urbanos utilizados no Rio de Janeiro tem características semelhantes aos veículos testados.  
Fonte: Elaboração própria.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados comparativos obtidos dos 12 meses de testes de campo de uma frota de 20 ônibus utilizando B5 e 20 ônibus utilizando mistura AMD30 foi possível determinar a equivalência entre estes combustíveis quanto ao rendimento dos combustíveis (km/l), consumo específico (l/pass.km) e índice de opacidade. Em particular, observou-se que o rendimento do AMD30 mostrou-se 0,49% maior do que o do B5, com incerteza estatística inferior a 2% para o nível de confiança de 95%. Adicionalmente, os resultados demonstraram que o AMD30 pode ser utilizado em veículos projetados para o uso de B5 sem a necessidade de qualquer alteração, não causando qualquer acréscimo no investimento inicial ou nos custos de manutenção.

Com base nos resultados do teste de campo, foi possível estimar o potencial de inserção do AMD30 como combustível na frota de ônibus do município do Rio de Janeiro, o que poderá acarretar reduções significativas na emissão de poluentes atmosféricos locais regulamentados (42 t/mês) e dióxido de carbono (16,5 mil t/mês), bem como economia de B5 (98 m<sup>3</sup>/mês). Porém, todos estes benefícios implicam em 5,81% de aumento nos custos operacionais totais equivalentes a cerca de R\$ 9,6 milhões por mês. Esse montante pode diminuir se o preço do diesel de cana diminuir em função do aumento da escala produtiva, aprimoramento tecnológico da sua produção ou de incentivos governamentais.

Mecanismos atualmente disponíveis para viabilizar o uso de combustíveis mais limpos, como os créditos de carbono, não parecem representar solução para este problema no curto prazo, mesmo se participassem de uma proposta de subsídio composta por outras alternativas, como a redução ou isenção de impostos e a internalização dos custos sociais causados pela poluição atmosférica dos transportes nas cidades.

Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estimativa mais precisa do potencial de redução de poluentes locais por meio de testes de campo que quantifiquem a emissão destes poluentes. Além disso, recomenda-se a realização de estudos específicos que permitam identificar mecanismos de redução e/ou compensação da diferença de custos entre o AMD30 e o B5, considerando a possibilidade de ganhos de escala na produção ou a aplicação de subsídios nas cadeias produtivas e de comercialização. Para isso, destaca-se a possibilidade de aplicação dos princípios, diretrizes e objetivos da Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587) quanto à promoção do desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas nas cidades.



www.antp.org.br

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. *NBR 6022 – Informação e documentação – Publicação periódica científica Impressão - Apresentação*. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003b.
- AMYRIS. *Informações sobre o combustível diesel de cana*. Disponível na URL: <http://www.amyris.com/pt/mercados/combustiveis/renewable-diesel-fuel>. Acesso em: fevereiro de 2012.
- ANP. *Resolução nº 65, 09/12/2011*. Brasil: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2011.
- ANTP. *Sistema de informações da mobilidade urbana. Relatório comparativo 2003-2009*. São Paulo, SP: Associação Nacional dos Transportes Públicos, 2009.
- CACHIOLO, A. *O impacto do uso de biodiesel e diesel de cana de açúcar nos custos de uma empresa de transporte urbano de cargas*. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, 2012.
- CUNHA, J. M. *Avaliação econômica das alternativas de monitoramento da poluição do ar e os efeitos na saúde da população do RJ*. Rio de Janeiro, RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- FETRANSPOR. *Relatório de atividades Fetranspor*. Rio de Janeiro, RJ: Federação das Empresas de Transportes de Passageiros, 2012.
- GEIPOT. *Manual de instruções práticas atualizadas – IPA*. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes, 1996.
- IEA. *Key word energy statistics 2010*. Paris, França: International Energy Agency, 2010.
- CASA CIVIL, BRASIL. *Lei nº 12.587. Política Nacional de Mobilidade Urbana*, artigo 5º, § II. Brasília, DF: Presidência da República, 2012.
- MMA. *Resolução Conama nº 251, 12/01/1999*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1999.
- MMA. *Primeiro inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários (Relatório final)*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2011.
- O GLOBO. *Informações sobre cotação atual da tonelada de carbono praticada*. Disponível na URL: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2012/07/onu-ainda-acredita-no-mercado-de-carbono-mesmo-com-queda-no-preco.html>. Acesso em: julho de 2013.
- PET/COPPE/UFRJ. *Monitoramento dos testes de uso de diesel de cana em frota de ônibus urbano no Município do Rio de Janeiro (Relatório final)*. Rio de Janeiro, RJ: Programa de Engenharia de Transportes do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, 2013.
- PET/COPPE/UFRJ. *Inventário de emissões atmosféricas por veículos automotores do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, RJ: Programa de Engenharia de Transportes do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, 2011.