



2013

Monitoramento dos testes de uso de diesel de cana em frota de ônibus urbano no Município do Rio de Janeiro



Monitoramento dos testes de uso de diesel de cana em frota de ônibus urbano no Município do Rio de Janeiro

RELATÓRIO FINAL
EMITIDO EM: 02/06/2013

EQUIPE TÉCNICA:

COORDENAÇÃO: Prof^o. Márcio de Almeida D'Agosto
dagosto@pet.coppe.ufrj.br

Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ

PESQUISADORES: Cristiane Duarte Ribeiro de Souza
cristiane@pet.coppe.ufrj.br

Luiza Santana Franca

luizasfranca@poli.ufrj.br

Maria Lívia Real de Almeida

maria-livia@poli.ufrj.br

Laboratório de Transporte de Carga – LTC/PET/COPPE/UFRJ

Beatriz Maria Cohen Chaves

bchaves@peq.coppe.ufrj.br

Centro de Pesquisas e Caracterização de Petróleo e Combustíveis da COPPE/UFRJ
(COPPEComb)

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO.....	4
APRESENTAÇÃO	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DE TESTE.....	9
3. IDENTIFICAÇÃO DO REFERENCIAL DE TESTE	12
4. REALIZAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DOS TESTES	14
5. PROCESSAMENTO DAS MEDIDAS E ATRIBUTOS DE DESEMPENHO..	15
5.1 RESULTADOS OBTIDOS PARA RENDIMENTO, CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL E OPACIDADE DOS GASES DE ESCAPAMENTO DOS MOTORES	15
5.2 RESULTADOS OBTIDOS PARA OS DEMAIS ATRIBUTOS DE DESEMPENHO.....	16
6. RESULTADOS OBTIDOS	18
6.1 RENDIMENTO [KM/L] E CONSUMO ESPECÍFICO [L/PASS.KM].....	18
6.2 OPACIDADE DOS GASES DE ESCAPAMENTO DOS MOTORES	38
6.3 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE COMBUSTÍVEL	39
6.4 ANÁLISE DO ÓLEO LUBRIFICANTE	42
6.5 TESTE DE DESEMPENHO DOS VEÍCULOS.....	52
6.6 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS VEÍCULOS EM TESTE.....	52
6.7 TESTE DE DURABILIDADE DOS MOTORES.....	52
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
AGRADECIMENTOS	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
DEPOIMENTO DOS PARCEIROS INSTITUCIONAIS.....	57

ESTE RELATÓRIO CONTEM 3 ANEXOS:

ANEXO I: Resultados da caracterização das amostras do combustível AMD30 e ADM100 – 29 pág.

ANEXO II: Relatórios de análise de óleo lubrificante – 139 pág.

ANEXO III: Relatório Técnico – Teste com Diesel de Cana AMD30 – 67 pág.

SUMÁRIO EXECUTIVO

Com a finalidade de subsidiar e escolher e o uso de fontes alternativas de energia para o transporte rodoviário coletivo de passageiros no Brasil, em particular no que se refere ao uso de biocombustíveis, esse trabalho, realizado em conjunto com a Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (FETRANSPOR), Viação Nossa Senhora das Graças (antiga Viação Saens Peña S.A.), Mercedes-Benz do Brasil Ltda, Petrobras Distribuidora S.A., Amyris Brasil Ltda e Michelin do Brasil, analisa o desempenho comparativo, ao longo de 12 meses (fevereiro/2012 a janeiro/2013), entre uma frota de 20 ônibus urbanos utilizando uma mistura AMD30, composta de 70% de B5 (diesel B_S50 – 50 ppm de enxofre e 5% de biodiesel conforme Resolução ANP65/2011 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis e normativa CNPE06/2009 do Ministério de Minas e Energia) e 30% de diesel de cana (AMD100) produzido pela empresa Amyris Brasil Ltda e uma frota similar de ônibus urbanos utilizando mistura de 95% de óleo diesel de petróleo e 5% de biodiesel (B5).

Os veículos testados atuaram em duas linhas de serviço, 409 - Saens Pena - Jardim Botânico/Horto (linha regular) e 125 - Central - Praça General Osório (linha circular) operadas pela Viação Nossa Senhora das Graças e acumularam mais de 3,16 milhões de quilômetros rodados, consumindo pouco mais de 599 mil litros de B5 e 587 mil litros de AMD30.

A partir da análise dos resultados dos testes realizados verificou-se que os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram, de forma agregada, rendimento 0,49% superior em km/l e consumo específico de combustível 1,95% menor por passageiro por quilometro do que os veículos abastecidos com B5. Estes resultados foram obtidos com incerteza estatística variando entre 0,34% e 3,88% sobre e média para um nível de confiança estatística de 95%.

Verificou-se que a média do 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 2 combustíveis simultaneamente, o que ratifica a distribuição dos resultados apresentados e reforça a significância da média e do seu intervalo de variação.

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 $1,7 \text{ m}^{-1}$, tendo os veículos abastecidos com AMD30 apresentado, de forma agregada, -0,77% de valor de opacidade que os abastecidos com B5. Estes resultados foram obtidos com incerteza estatística sobre a média de até 5,3% para um nível de confiança estatística de 95%.

Em função dos resultados apresentados, conclui-se que a mistura AMD30 apresentou resultados de rendimento energético [km/l], consumo específico de combustível [l/pass.km] e opacidade [m^{-1}] estatisticamente equivalentes aos determinados para o B5, ao se considerar um nível de confiança de 95 %.

Adicionalmente, tanto o resultado das análises das amostras de óleo lubrificante quanto o resultado do teste de durabilidade dos motores por meio da análise videoscópica comparativa (antes do início dos testes e ao final dos mesmos) do interior dos cilindros dos motores não mostraram qualquer sinal de desgaste fora dos padrões estabelecidos e que pudessem ser atribuídos ao uso do AMD30. Segundo resultados obtidos a partir dos testes realizados pela Mercedes-Benz do Brasil Ltda (ANEXO III) os motores de todos os veículos avaliados apresentaram resultados satisfatórios quanto ao estado de conservação. As agulhas dos bicos injetores de veículos amostrados abastecidos com AMD30 e B5 apresentaram desgaste excessivo. Apesar do fenômeno ter sido observado em todas as agulhas, foi mais evidente no veículo que operou com B5, isentando o AMD30 como responsável pelo fenômeno.

O teste de desempenho de dois veículos por meio do monitoramento eletrônico embarcado não mostrou diferença de desempenho entre aquele que utilizou B5 e o que utilizou AMD30 e nenhuma diferença foi sentida pelos motoristas destes veículos, segundo relato da equipe da Viação Nossa Senhora das Graças responsável pelo acompanhamento dos testes.

Como resultado da caracterização do combustível utilizado verifica-se que o AMD30 apresenta características que obedecem à resolução da ANP 65/2011 e conclui-se que o produto da Amyris Brasil Ltda (AMD100) pode ser utilizado em adição de até 30% ao B5.

APRESENTAÇÃO

Este Relatório Final é referente a Proposta COPPETEC PET-15238, intitulada Monitoramento dos testes de uso de diesel de cana de açúcar – aqui denominado diesel de cana - em frota de ônibus urbano no Município do Rio de Janeiro, referindo-se ao projeto desenvolvido pelo Programa de Engenharia de Transportes (PET) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em conjunto com a Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (FETRANSPOR) e contando com a parceria da Viação Nossa Senhora das Graças (antiga Viação Saens Peña S.A.), Mercedes-Benz do Brasil Ltda, Petrobras Distribuidora S.A., Amyris Brasil Ltda e Michelin do Brasil, com a finalidade de avaliar o desempenho comparativo de uma frota de ônibus urbanos que utiliza uma mistura de combustível denominada AMD30, contendo 70% de B5 (diesel B_S50 – 50 ppm de enxofre e 5% de biodiesel conforme Resolução ANP65/2011 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis e normativa CNPE06/2009 do Ministério de Minas e Energia) e 30% de diesel de cana de açúcar (AMD100) produzido pela empresa Amyris Brasil Ltda em relação a uma frota operando em condições similares que utiliza mistura de 95% de óleo diesel de petróleo e 5% de biodiesel (B5).

1. INTRODUÇÃO

No mundo todo o transporte responde pelo consumo de mais de 50% dos derivados de petróleo (IEA, 2010). No Brasil, no ano de 2009, aproximadamente 87% das viagens realizadas por modos coletivos de transporte de passageiros ocorreu por meio do uso de ônibus movidos a óleo diesel de petróleo (ANTP, 2009), responsáveis pela emissão de 27,8 milhões de toneladas de CO₂ (MMA, 2011). Visando minimizar os impactos ambientais causados pelo seu uso e ao mesmo tempo ampliar a segurança energética da nação, o país avança na busca por novas alternativas energéticas.

Neste contexto, fontes alternativas de energia vêm sendo pesquisadas e disponibilizadas no Brasil. 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 puros ou misturados 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). Por ser um hidrocarboneto, o diesel de cana apresenta ainda uma grande vantagem em relação a outras fontes alternativas de energia, pois, a princípio, 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.

Assim, esse trabalho analisa o desempenho comparativo, ao longo de 12 meses (fevereiro/2012 a janeiro/2013), entre uma frota de 20 ônibus urbanos utilizando uma mistura (AMD30) composta de 70% de B5 (diesel B_S50 – 50 ppm de enxofre e 5% de biodiesel conforme Resolução ANP65/2011 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis e normativa CNPE06/2009 do Ministério de Minas e Energia) e 30% de diesel de cana (AMD100) produzido pela empresa Amyris Brasil Ltda e uma frota similar de ônibus urbanos utilizando mistura de 95% de óleo diesel de petróleo e 5% de biodiesel (B5). Os veículos em estudo, que atuam em duas linhas de serviço, foram operados e monitorados pela atual Viação Nossa Senhora das Graças, antiga Viação Saens Peña S.A.¹.

Ao longo do trabalho foram analisadas 3 medidas de desempenho: rendimento (km/l), consumo específico (l/pass.km) e opacidade dos gases de escapamento dos motores e 5 atributos de desempenho: desempenho dos veículos; operação e manutenção dos veículos em teste; análise do óleo lubrificante do motor; caracterização do combustível AMD30 e AMD100 e teste da durabilidade do motor. Os resultados obtidos durante os 12 meses de teste encontram-se neste relatório e em seus 3 ANEXOS.

¹ A atual empresa Nossa Senhora da Graças será identificada como antiga Viação Saens Peña S.A. neste relatório.

A partir desta introdução, este relatório divide-se em 6 itens e 3 ANEXOS. O item 2 apresenta a identificação do objeto de teste e o item 3 a identificação do referencial de teste. Os detalhes sobre a realização e acompanhamento do teste encontram-se descritos no item 4. No item 5 são apresentados a metodologia de processamento das medidas e atributos de desempenho considerados no estudo. O item 6 apresenta os resultados deste projeto, enquanto as considerações finais e suas limitações são apresentadas no item 7. Os ANEXOS consideram: ANEXO I - Resultados da caracterização das amostras do combustível AMD30 e ADM100 (29 páginas); ANEXO II - Relatórios de análise de óleo lubrificante (139 página) e ANEXO III - Relatório Técnico – Teste com Diesel de Cana AMD30 (67 páginas).

2. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DE TESTE

A frota de ônibus urbanos considerada para a realização deste teste 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), conforme Tabela 1.

Tabela 1: Frota de veículos considerada no estudo.

	Número de Ordem	Placa	Chassi				Carroceria		Combustível	Linha
			Marca	Modelo	Número	Ano/Modelo	Marca da Carroceria	Modelo da Carroceria		
1	A71528	KZP 7057	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB831866	11/12	CAIO	APACHE VIP	AMD30	125
2	A71517	LQC 6568	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB823294	11/12	MARCOPOLO	TORINO	AMD30	125
3	A71530	KVU 9956	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB831345	11/12	CAIO	APACHE VIP	AMD30	125
4	A71537	LQC 6566	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB831830	11/12	CAIO	APACHE VIP	AMD30	125
5	A71607	LPV 6049	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB784341	11/11	CAIO	APACHE VIP	AMD30	125
6	A71611	LRR 3458	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB784343	11/11	CAIO	APACHE VIP	AMD30	125
7	A71543	LQC 6567	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB831836	11/12	CAIO	APACHE VIP	AMD30	125
8	A71612	LLL 9818	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB784352	11/11	CAIO	APACHE VIP	AMD30	125
9	A71613	LLL 9822	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB784348	11/11	CAIO	APACHE VIP	AMD30	125
10	A71572	KVO 9952	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB831870	11/12	CAIO	APACHE VIP	AMD30	125
11	A71507	LPW 3274	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB785242	11/11	MARCOPOLO	TORINO	AMD30	409
12	A71589	LPW 3255	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB786310	11/11	MARCOPOLO	TORINO	AMD30	409
13	A71595	KOL 4664	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB781690	11/11	MARCOPOLO	TORINO	AMD30	409
14	A71608	LRF 3239	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB781757	11/11	MARCOPOLO	TORINO	AMD30	409
15	A71609	LPW 3259	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB782161	11/11	MARCOPOLO	TORINO	AMD30	409
16	A71617	KNZ 7177	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB786654	11/11	MARCOPOLO	TORINO	AMD30	409
17	A71515	LPW 3596	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB785281	11/11	MARCOPOLO	TORINO	AMD30	409
18	A71535	LUD 3716	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB785648	11/11	MARCOPOLO	TORINO	AMD30	409
19	A71546	KOU 2933	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB782163	11/11	MARCOPOLO	TORINO	AMD30	409
20	A71562	LPW 3588	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB785532	11/11	MARCOPOLO	TORINO	AMD30	409
1	A71505	LQC 6570	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB823294	11/12	MARCOPOLO	TORINO	B5	125
2	A71524	LLK 7635	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB769583	11/11	CAIO	APACHE VIP	B5	125
3	A71529	KVO 9949	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB831834	11/12	CAIO	APACHE VIP	B5	125
4	A71579	KXY 7065	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB769657	11/11	CAIO	APACHE VIP	B5	125
5	A71598	KNY 9124	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB769658	11/11	CAIO	APACHE VIP	B5	125
6	A71531	KVO 9954	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB831809	11/12	CAIO	APACHE VIP	B5	125
7	A71606	LLK 7634	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB769659	11/11	CAIO	APACHE VIP	B5	125
8	A71541	KZP 7059	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB831880	11/12	CAIO	APACHE VIP	B5	125
9	A71568	KVO 9950	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB831864	11/12	CAIO	APACHE VIP	B5	125
10	A71587	KOP 4956	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078CB831868	11/12	CAIO	APACHE VIP	B5	125
11	A71511	LLK 7643	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB769582	11/11	CAIO	APACHE VIP	B5	409
12	A71585	LPW 3591	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB786288	11/11	MARCOPOLO	TORINO	B5	409
13	A71594	LPW 1824	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB781358	11/11	MARCOPOLO	TORINO	B5	409
14	A71603	LLM 8754	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB781707	11/11	MARCOPOLO	TORINO	B5	409
15	A71614	KVX 4583	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB782165	11/11	MARCOPOLO	TORINO	B5	409
16	A71615	LTT 3599	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB785269	11/11	MARCOPOLO	TORINO	B5	409
17	A71512	LLM 8752	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB785248	11/11	MARCOPOLO	TORINO	B5	409
18	A71518	LTF 3515	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB785565	11/11	MARCOPOLO	TORINO	B5	409
19	A71573	LPV 9939	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB785549	11/11	MARCOPOLO	TORINO	B5	409
20	A71584	KWL 4764	M.BENZ	OF1722LA	9BM384078BB786285	11/11	MARCOPOLO	TORINO	B5	409

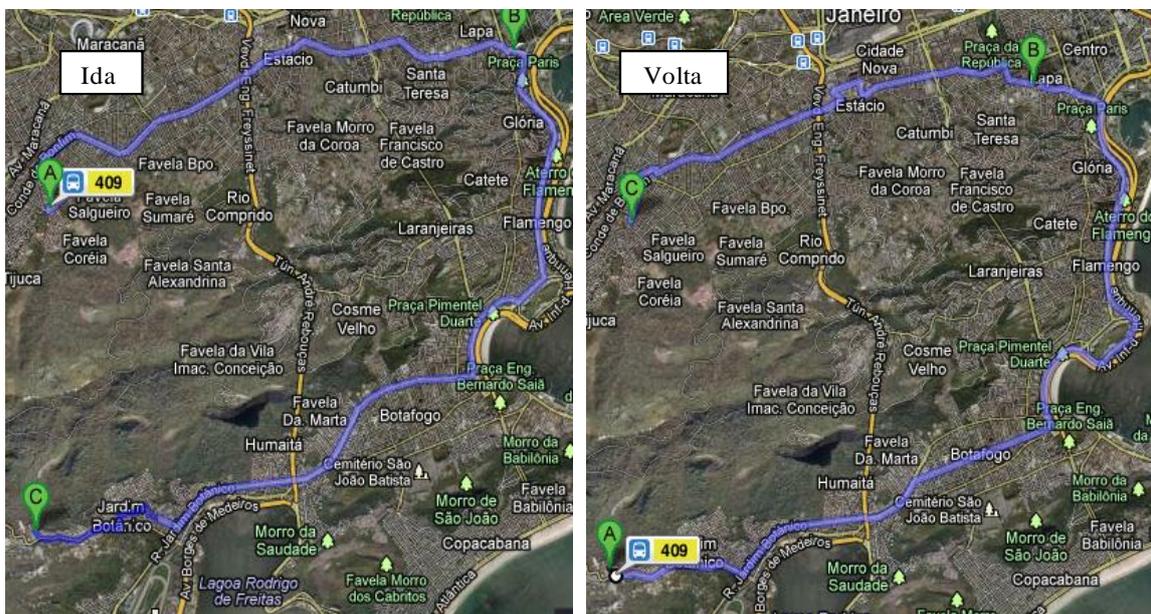
Nota: Os veículos de placa KNX8593, KWN4103, LPR6350, KQV1329 e LLG9211, substituíram ao longo dos testes, respectivamente, os veículos equivalentes (de idênticas características físicas) de placas KZP7057, KVO9949, KVU9956, KZP7059 e KOP4956 presentes nesta tabela. Os números de ordem foram mantidos.

Fonte: Viação Saens Pena (2012).

O teste foi realizado com 20 veículos utilizando uma mistura denominada de AMD30, composta de 70% de B5 (diesel B_S50 – 50 ppm de enxofre e 5% de biodiesel conforme regulamentação ANP65/2011 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis e normativa CNPE06/2009 do Ministério de Minas e Energia) e 30%

de diesel de cana (AMD100) e uma frota com a mesma quantidade de ônibus urbanos utilizando mistura de 95% de óleo diesel de petróleo e 5% de biodiesel (B5), esta última considerada como frota de referência ou frota “sombra”. Estes veículos atuam em duas linhas de serviço (409 e 125), conforme Tabela 1, sendo operados e monitorados pela antiga Viação Saens Peña S.A.

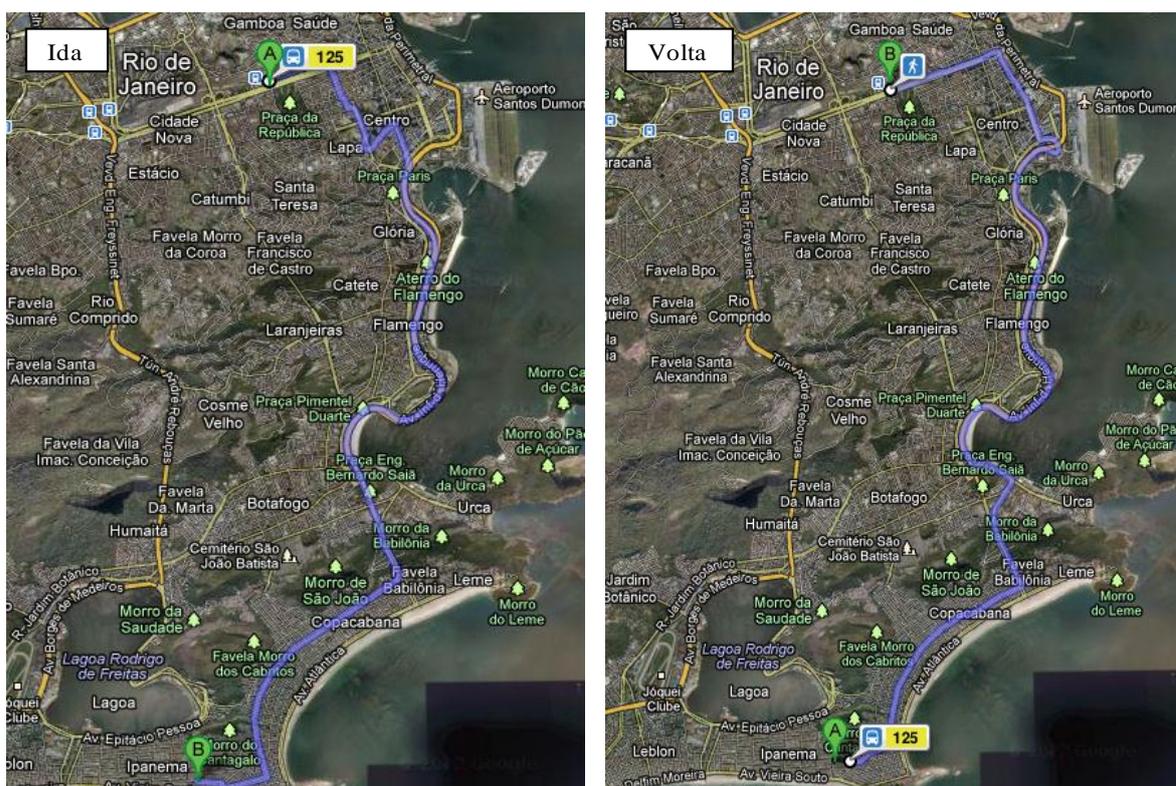
A linha 409 é uma linha regular, Saens Pena - Jardim Botânico (Horto), que parte da Praça Gabriel Soares, na Tijuca, passando pelos bairros do Estácio, Lapa, Flamengo e Botafogo, chegando à Rua Othon Bezerra de Melo, no Jardim Botânico com distância aproximada de 23,2 km (ida) e 21,4 km (volta). O itinerário de ida e volta encontra-se representado na Figura 1.



Fonte: Google maps (2012).

Figura 1: Percurso realizado na linha 409.

Já a linha 125, Central - Praça General Osório é circular, 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 aproximada de 25,8 km (ida) e 17,4 km (volta). A Figura 2 apresenta seu itinerário de ida e volta.



Fonte: Google maps (2012).

Figura 2: Percurso realizado na linha 125.

3. IDENTIFICAÇÃO DO REFERENCIAL DE TESTE

Para a comparação dos veículos abastecidos com AMD30 e B5 o presente estudo considerou as seguintes medidas e atributos de desempenho:

Medidas de desempenho:

- Rendimento do combustível (km/l)
- Consumo específico do combustível (l/pass.km);
- Opacidade dos gases de escapamento dos motores (m^{-1}).

Atributos de desempenho:

- Desempenho dos veículos;
- Operação e manutenção dos veículos em teste;
- Análise do óleo lubrificante do motor;
- Caracterização dos combustíveis AMD30 e AMD100;
- 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. Esta medição foi realizada conforme norma NBR 13037 da ABNT. Como limite de opacidade considerou-se $1,7 m^{-1}$, conforme Resolução CONAMA 251/99.

A análise de desempenho dos veículos foi realizada em dois veículos da frota em teste, um utilizando AMD30 e outro utilizando B5. O desempenho foi analisado a partir da rotação do motor, do 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 Viação Saens Peña S.A., que reportou os casos de paradas, defeitos e necessidade de manutenção dos veículos que compõem a frota em estudo quando estes ocorrem.

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 (71507, 71515, 71607 e 71611) e quatro veículos utilizando

B5 (71512, 71518, 71524 e 71579). A análise do óleo lubrificante foi realizada pela Shell Brasil S.A. por conta do fabricante do chassi dos veículos (Mercedes-Benz do Brasil Ltda). Os mesmos veículos tiveram seus motores acompanhados para a realização do teste de durabilidade dos motores que foi realizado pela fabricante do chassi dos veículos (Mercedes-Benz do Brasil Ltda).

Além do especificado acima, estava previsto o recebimento de amostras mensais do combustível AMD100 e AMD30. No entanto, foram recebidas somente duas amostras do combustível AMD100 e retiradas 12 amostras de AMD30 do tanque de armazenamento instalado na Viação Saens Peña S.A. Essas amostras foram analisadas pelo Laboratório de Análise de Combustíveis da COPPE/UFRJ (COPPEComb), de forma a obter a caracterização dos combustíveis utilizados.

Foram analisados os resultados obtidos referentes a 12 meses de teste (fevereiro/2012 a janeiro/2013) para as medidas de desempenho e para os atributos de desempenho considerados neste projeto.

4. REALIZAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DOS TESTES

Os veículos foram operados e monitorados pela antiga Viação Saens Peña S. A., que foi 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 notáveis² de operação e manutenção dos veículos em teste.

A medição da opacidade dos gases de escapamento dos motores foi realizada mensalmente pela FETRANSPOR. O monitoramento dos parâmetros de desempenho dos veículos, a análise do óleo lubrificante do motor e o teste de durabilidade do motor ficaram sob responsabilidade da Mercedes-Benz do Brasil Ltda.

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 análise dos dados foram realizados pelo Programa de Engenharia de Transportes (PET) da COPPE/UFRJ com o apoio do COPPEComb.

² Por ocorrências notáveis considera-se aquelas que possam estar relacionadas ao uso do combustível.

5. PROCESSAMENTO DAS MEDIDAS E ATRIBUTOS DE DESEMPENHO

Dois procedimentos foram empregados para a análise dos resultados obtidos para as medidas e atributos de desempenho considerados.

5.1 Resultados obtidos para rendimento, consumo específico de combustível e opacidade dos gases de escapamento dos motores

No que se refere às medidas de rendimento, consumo específico de combustível e opacidade dos gases de escapamento dos motores adotou-se o procedimento com metodologia estatística sumariamente apresentados na Figura 3.

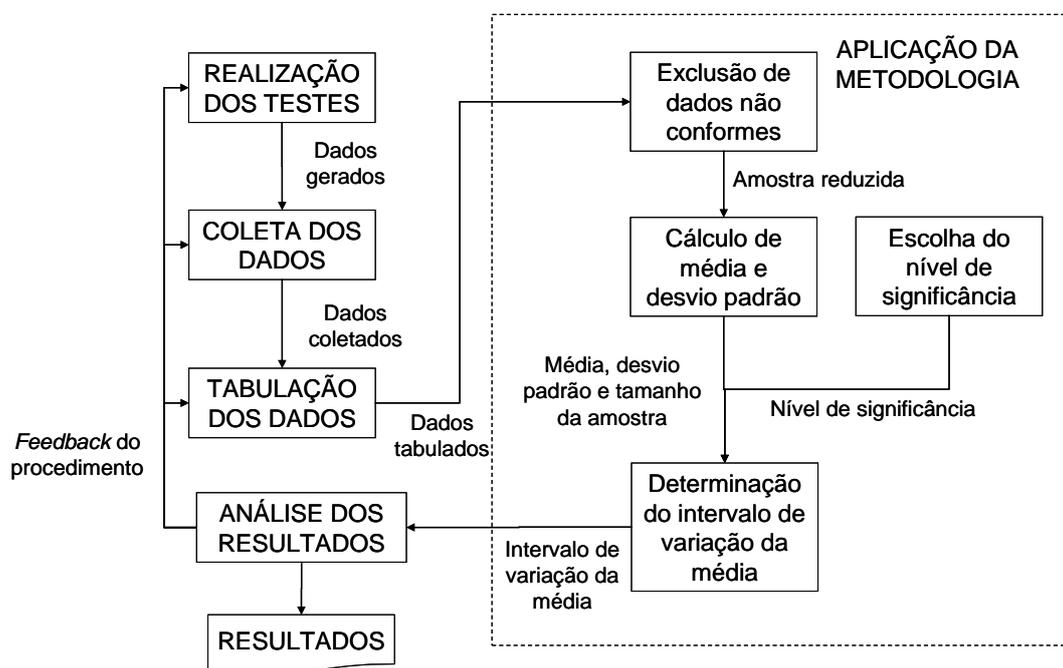


Figura 3: Diagrama com síntese do procedimento e metodologia estatística de avaliação das medidas de rendimento, consumo específico de combustível e opacidade dos gases de escapamento dos motores.

Para cada uma das medidas selecionadas, os dados levantados em campo (geração+coleta) foram tabulados em uma planilha *Microsoft Excel* e enviados para aplicação da metodologia estatística. Os dados considerados não conformes, em função de alguma não conformidade observada na geração ou coleta foram excluídos, dando

origem a uma amostra reduzida, para a qual se determina a média (\bar{C}) e o desvio padrão (S). Em paralelo, escolheu-se um nível de confiança estatística de 95%, para um nível de significância estatística de 5%, para a determinação do intervalo de variação da média $(\bar{C} - \varepsilon, \bar{C} + \varepsilon)$ por meio da equação 1 que determina a incerteza estatística ou erro (ε).

$$\varepsilon = t_{n-1, \alpha/2} \cdot \frac{S}{\sqrt{n-1}} \quad (1)$$

Onde: $t_{n-1, \alpha/2}$ é o valor da função distribuição de probabilidade t de Student bicaudal para os parâmetros n-1 e $\alpha/2$;
S é o desvio padrão da amostra escolhida;
n é o tamanho da amostra a ser determinado.

Após determinação do intervalo de variação da média, uma análise mais profunda foi realizada, verificando-se a ocorrência de erros sistemáticos ou resultados inesperados, o que pode caracterizar uma oportunidade de melhoria no procedimento (*feedback* do procedimento). Os resultados encontram-se disponibilizados com os devidos comentários nos itens 6.1 a 6.7.

Para aplicação do método estatístico admite-se a hipótese que \bar{C} segue uma função densidade de probabilidade Normal com média $\mu_{\bar{c}}$ e desvio padrão σ , ou seja, $N(\mu_{\bar{c}}, \sigma^2)$. Esta hipótese pode ser testada utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov e será verificada se o valor calculado (KS-c) for menor que o valor tabelado (KS-T) para o número de classes de frequências escolhido.

5.2 Resultados obtidos para os demais atributos de desempenho

No que se refere à avaliação de atributos de desempenho que possam depender do tratamento de variáveis predominantemente qualitativas, adotou-se o procedimento com metodologia sumariamente apresentado na Figura 4.

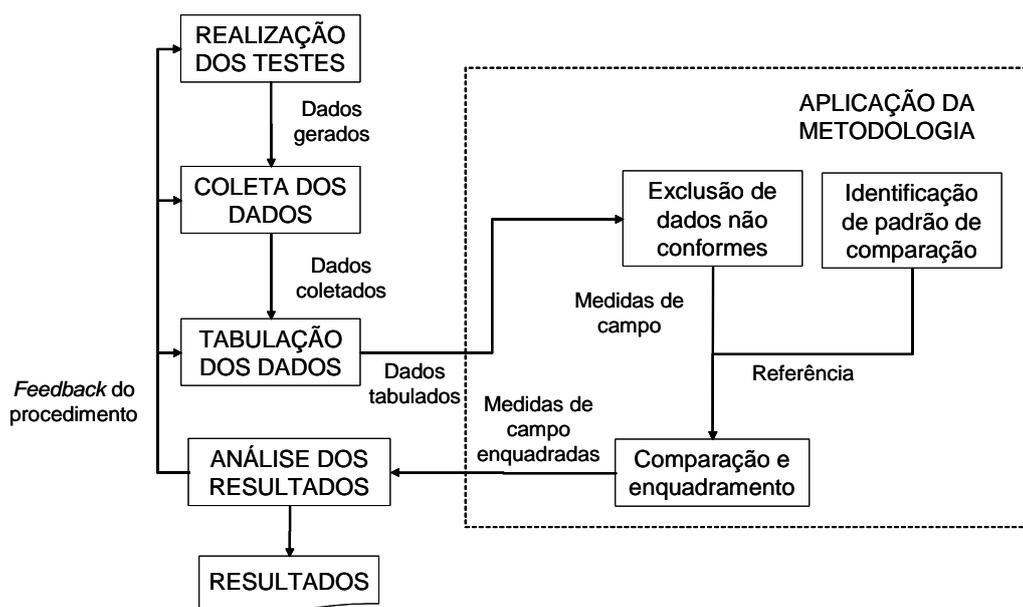


Figura 4: Diagrama com síntese do procedimento e metodologia de avaliação dos atributos de desempenho.

No caso dos itens cujos resultados dependeram de variáveis predominantemente qualitativas (operação e manutenção da frota, análise do óleo lubrificante do motor, teste de desempenho dos veículos, teste de durabilidade do motor e caracterização dos combustíveis) os responsáveis pela realização dos testes específicos utilizaram o procedimento apresentado na Figura 4 para estabelecer seus resultados.

6. RESULTADOS OBTIDOS

Os dados recebidos foram tratados conforme descrito no item 5.1 para o caso do rendimento [km/l], consumo específico [l/pass.km] e opacidade [m^{-1}]. Os demais dados e informações foram recebidos e consolidados conforme item 5.2. Os resultados obtidos encontram-se descritos nos itens 6.1 a 6.7.

6.1 Rendimento [km/l] e consumo específico [l/pass.km]

Foram coletados dados de consumo de combustível, quilometragem rodada, número de viagens realizadas e número total de passageiros transportados para vinte ônibus movidos a AMD30, sendo dez desses ônibus pertencentes à linha 409 e dez pertencentes à linha 125. Para comparação, foram coletados os mesmos dados para vinte ônibus movidos a B5, sob as mesmas condições de operação nas mesmas linhas dos ônibus abastecidos com AMD30.

Para que se possa alcançar a abrangência do teste, a Tabela 2 apresenta os valores acumulados de consumo de combustível e quilometragem percorrida pelos veículos.

A partir desses dados, foi calculada a média e o desvio padrão para o rendimento [km/l], o consumo [l/km] e a média de passageiros por viagem [passageiros/viagens] para cada mês do período estudado e para todo o período. Considerando-se a média, o desvio padrão e o número de observações, calculou-se a incerteza estatística (erro - ε), conforme Equação 1, para o rendimento [km/l] e para o consumo específico [l/pass.km]. Foram analisados também os valores mínimos e máximos dos indicadores observados no período, conforme Tabelas 3 a 6. As Tabelas 7 e 8 apresentam os resultados obtidos para o rendimento [km/l] e para o consumo específico [l/pass.km] após tratamento estatístico.

Tabela 2: 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

Tabela 3: Resultados mensais do período de fevereiro a maio de 2012.

Itens analisados		fev/12		mar/12		abr/12		mai/12	
		AMD	B5	AMD	B5	AMD	B5	AMD	B5
Rendimento (km/l)	Mínimo	1,61	1,17	1,48	1,06	1,06	0,89	1,10	1,16
	Médio	2,63	2,64	2,68	2,63	2,66	2,66	2,69	2,66
	Máximo	4,44	5,70	5,21	4,88	6,56	5,15	6,38	6,94
	Desvio padrão	0,31	0,37	0,46	0,29	0,42	0,36	0,52	0,39
	n	476	480	516	513	499	503	530	541
	t	1,96496	1,96492	1,96457	1,96459	1,96472	1,96468	1,96445	1,96436
	KS-c	0,13	0,17	0,13	0,12	0,14	0,14	0,14	0,18
	KS-T	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
	% erro	1,05%	1,27%	1,48%	0,97%	1,38%	1,19%	1,66%	1,22%
Erro	0,028	0,034	0,040	0,025	0,037	0,032	0,045	0,033	
Consumo (l/km)	Mínimo	0,23	0,18	0,19	0,20	0,15	0,19	0,16	0,14
	Médio	0,38	0,39	0,38	0,39	0,38	0,38	0,39	0,38
	Máximo	0,62	0,85	0,68	0,94	0,94	1,12	0,91	0,86
	Desvio padrão	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,08	0,05
	n	476	480	516	513	499	503	530	541
Viagens (viagens/veículo.dia)	Mínimo	2,0	1,0	1,3	1,3	2,0	2,0	1,3	1,3
	Médio	9,6	9,5	5,1	5,2	5,0	5,1	5,0	5,1
	Máximo	16,0	18,0	9,8	10,4	11,1	9,2	9,8	11,1
	Desvio padrão	2,2	2,2	1,4	1,4	1,5	1,3	1,4	1,3
	n	365	388	307	496	498	502	525	537
Passageiros (passageiro/veículo.dia)	Mínimo	82,8	13,0	78,7	78,7	113,3	89,1	41,9	93,7
	Médio	253,8	245,7	288,3	294,7	390,0	388,4	388,8	397,1
	Máximo	409,0	419,4	503,1	512,2	900,0	723,8	683,2	748,0
	Desvio padrão	55,3	57,5	76,7	83,1	105,7	105,5	103,0	98,4
	n	365	388	307	496	498	502	525	537
Passageiros/viagem	Mínimo	13,6	12,2	23,5	20,2	32,0	22,7	8,0	23,8
	Médio	27,5	26,8	58,3	58,5	80,6	79,0	86,4	82,3
	Máximo	60,4	70,0	96,7	104,8	150,6	149,4	309,3	302,0
	Desvio padrão	7,0	7,8	12,9	14,5	21,2	21,7	40,7	30,8
	n	365	388	307	496	498	502	525	537

Legenda: AMD = AMD30; n = número de observações; t = valor tabelado da função t de Student; KS-c = valor calculado para o teste Kolmogorov-Smirnov; KS-T = valor tabelado para o teste Kolmogorov-Smirnov.

Nota: em função do tamanho da amostra (n) para a aplicação dos testes Kolmogorov-Smirnov foram consideradas 10 classes de frequência.

Tabela 4: Resultados mensais do período de junho a setembro de 2012.

Itens analisados		jun/12		jul/12		ago/12		set/12	
		AMD	B5	AMD	B5	AMD	B5	AMD	B5
Rendimento (km/l)	Mínimo	1,34	1,46	1,34	1,17	0,92	0,82	1,09	1,72
	Médio	2,71	2,71	2,68	2,66	2,65	2,62	2,64	2,64
	Máximo	5,33	4,65	3,95	3,98	6,19	6,91	4,66	4,10
	Desvio padrão	0,37	0,40	0,32	0,30	0,53	0,48	0,40	0,29
	n	504	524	524	530	527	542	427	499
	t	1,96468	1,96449	1,96450	1,96444	1,96447	1,96436	1,96553	1,96473
	KS-c	0,12	0,15	0,13	0,13	0,17	0,17	0,15	0,11
	KS-T	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
	% erro	1,19%	1,27%	1,03%	0,97%	1,72%	1,56%	1,43%	0,97%
Erro	0,032	0,034	0,028	0,026	0,045	0,041	0,038	0,026	
Consumo (l/km)	Mínimo	0,19	0,21	0,25	0,25	0,16	0,14	0,21	0,24
	Médio	0,38	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,38
	Máximo	0,74	0,68	0,75	0,85	1,09	1,22	0,92	0,58
	Desvio padrão	0,05	0,06	0,05	0,05	0,08	0,08	0,06	0,04
	n	504	524	524	530	527	542	427	499
Viagens (viagens/veículo.dia)	Mínimo	2,0	2,0	1,3	0,7	3,0	2,0	1,3	2,0
	Médio	5,0	5,0	5,0	5,0	7,6	7,4	5,1	5,1
	Máximo	8,5	10,5	7,9	7,9	11,0	11,0	9,9	9,9
	Desvio padrão	1,5	1,4	1,5	1,3	1,8	1,7	1,5	1,4
	n	502	521	526	528	557	550	477	504
Passageiros (passageiro/veículo.dia)	Mínimo	74,0	68,1	55,7	59,0	62,9	61,6	106,3	85,1
	Médio	310,7	309,5	299,9	295,0	307,3	298,0	331,0	331,3
	Máximo	667,4	759,1	544,3	620,9	0,0	700,9	633,6	580,1
	Desvio padrão	87,4	84,8	84,2	81,9	0,0	80,0	89,5	90,6
	n	502	521	526	528	557	550	477	504
Passageiros/viagem	Mínimo	23,7	17,5	21,2	23,3	16,6	11,6	30,2	21,5
	Médio	63,7	63,2	61,1	61,0	41,2	40,8	67,2	67,7
	Máximo	138,0	113,3	111,6	103,5	70,1	66,3	117,6	115,0
	Desvio padrão	16,3	16,3	13,7	13,9	8,9	8,9	15,5	16,0
	n	502	521	526	528	557	550	477	504

Legenda: AMD = AMD30; n = número de observações; t = valor tabelado da função t de Student; KS-c = valor calculado para o teste Kolmogorov-Smirnov; KS-T = valor tabelado para o teste Kolmogorov-Smirnov.

Nota: em função do tamanho da amostra (n) para a aplicação dos testes Kolmogorov-Smirnov foram consideradas 10 classes de frequência.

Tabela 5: Resultados mensais do período de outubro de 2012 a janeiro de 2013.

Itens analisados		out/12		nov/12		dez/12		jan/13	
		AMD	B5	AMD	B5	AMD	B5	AMD	B5
Rendimento (km/l)	Mínimo	1,09	1,53	1,32	1,32	1,74	1,08	1,07	1,34
	Médio	2,64	2,65	2,68	2,69	2,71	2,70	2,86	2,80
	Máximo	4,02	4,08	4,99	5,23	3,89	4,60	6,19	5,17
	Desvio padrão	0,32	0,33	0,40	0,37	0,35	0,34	0,59	0,37
	n	517	518	452	479	461	477	465	488
	t	1,96456	1,96454	1,96522	1,96492	1,96512	1,96494	1,96507	1,96483
	KS-c	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,15	0,12	0,12
	KS-T	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
	% erro	1,04%	1,08%	1,39%	1,23%	1,19%	1,12%	1,89%	1,17%
Erro	0,028	0,028	0,037	0,033	0,032	0,030	0,054	0,033	
Consumo (l/km)	Mínimo	0,25	0,25	0,20	0,19	0,26	0,22	0,16	0,19
	Médio	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36
	Máximo	0,92	0,65	0,76	0,76	0,58	0,92	0,93	0,75
	Desvio padrão	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05
	n	517	518	452	479	461	477	465	488
Viagens (viagens/veículo.dia)	Mínimo	1,3	1,3	2,0	1,3	0,7	2,0	1,3	1,3
	Médio	5,1	4,9	4,9	5,1	5,1	5,2	5,0	5,2
	Máximo	10,5	10,5	11,1	12,4	9,8	9,8	9,8	11,1
	Desvio padrão	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5	1,6
	n	516	518	456	483	473	473	462	481
Passageiros (passageiro/veículo.dia)	Mínimo	51,7	51,7	97,6	81,2	66,2	102,8	98,9	77,3
	Médio	331,2	322,6	392,2	390,4	395,5	396,3	381,0	386,5
	Máximo	660,9	656,3	834,5	764,4	817,4	767,0	765,0	747,4
	Desvio padrão	87,6	92,8	115,0	113,5	115,9	115,9	100,4	111,3
	n	516	518	456	483	473	484	462	481
Passageiros/ viagem	Mínimo	28,1	23,0	31,3	27,5	35,5	27,9	37,8	23,6
	Médio	67,3	67,2	82,2	79,1	79,9	79,2	78,1	77,2
	Máximo	130,5	109,3	148,0	134,0	166,6	139,2	151,8	131,8
	Desvio padrão	16,0	15,3	20,7	20,9	20,8	19,0	18,5	18,4
	n	516	518	456	483	473	484	462	481

Legenda: AMD = AMD30; n = número de observações; t = valor tabelado da função t de Student; KS-c = valor calculado para o teste Kolmogorov-Smirnov; KS-T = valor tabelado para o teste Kolmogorov-Smirnov.

Nota: em função do tamanho da amostra (n) para a aplicação dos testes Kolmogorov-Smirnov foram consideradas 10 classes de frequência.

Tabela 6: Resultados acumulados do período de fevereiro de 2012 a janeiro de 2013.

Itens analisados		fevereiro/2012 - janeiro/2013	
		AMD	B5
Rendimento (km/l)	Mínimo	0,92	0,82
	Médio	2,68	2,67
	Máximo	6,56	6,94
	Desvio padrão	0,43	0,37
	n	5898	6094
	t	1,96036284	1,96036288
	KS-c	0,13	0,15
	KS-T	0,29	0,29
	% erro	0,41%	0,34%
	Erro	0,011	0,009
Consumo (l/km)	Mínimo	0,15	0,14
	Médio	0,38	0,38
	Máximo	1,09	1,22
	Desvio padrão	0,06	0,05
	n	5898	6094
Viagens (viagens/ veículo.dia)	Mínimo	0,66	0,66
	Médio	5,58	5,59
	Máximo	16,00	18,00
	Desvio padrão	2,04	1,96
	n	5664	5992
Passageiros (passageiro/ veículo.dia)	Mínimo	41,92	13,00
	Médio	341,66	338,95
	Máximo	899,97	767,01
	Desvio padrão	104,08	106,04
	n	5664	5992
Passageiros/ viagem	Mínimo	8,00	11,57
	Médio	66,83	65,44
	Máximo	309,33	302,00
	Desvio padrão	25,77	23,76
	n	5664	5992

Legenda: AMD = AMD30; n = número de observações; t = valor tabelado da função t de Student; KS-c = valor calculado para o teste Kolmogorov-Smirnov; KS-T = valor tabelado para o teste Kolmogorov-Smirnov.

Nota: em função do tamanho da amostra (n) para a aplicação dos testes Kolmogorov-Smirnov foram consideradas 20 classes de frequência.

Tabela 7: Resultados do período de fevereiro a agosto de 2012 após tratamento estatístico.

Itens analisados		fev/12		mar/12		abr/12		mai/12		jun/12		jul/12		ago/12	
		Amd	B5												
Rendimento [km/l]	Mínimo	2,606	2,607	2,637	2,606	2,623	2,633	2,642	2,630	2,674	2,678	2,653	2,634	2,606	2,580
	Médio	2,634	2,641	2,677	2,632	2,659	2,665	2,687	2,663	2,706	2,713	2,681	2,660	2,651	2,621
	Máximo	2,661	2,674	2,716	2,657	2,696	2,697	2,731	2,695	2,739	2,747	2,709	2,686	2,697	2,662
Consumo específico [l/pass.km]	Mínimo	0,01370	0,01402	0,00637	0,00644	0,00464	0,00472	0,00432	0,00454	0,00576	0,00580	0,00607	0,00613	0,00918	0,00935
	Médio	0,01401	0,01439	0,00659	0,00658	0,00477	0,00485	0,00448	0,00465	0,00590	0,00595	0,00620	0,00625	0,00949	0,00966
	Máximo	0,01433	0,01476	0,00681	0,00672	0,00491	0,00498	0,00464	0,00476	0,00604	0,00610	0,00634	0,00639	0,00981	0,00997
	Desvio padrão	0,00032	0,00037	0,00022	0,00014	0,00013	0,00013	0,00016	0,00011	0,00014	0,00015	0,00014	0,00013	0,00032	0,00031
	n	365	388	307	496	498	502	525	537	502	521	526	528	557	550
	t	1,96648	1,96609	1,96772	1,96475	1,96473	1,96470	1,96449	1,96439	1,96470	1,96452	1,96448	1,96446	1,96423	1,96428
	KS-c	0,14	0,15	0,14	0,19	0,17	0,21	0,26	0,20	0,18	0,20	0,20	0,18	0,17	0,19
	KS-T	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
	%erro	2,26%	2,55%	3,36%	2,10%	2,78%	2,67%	3,48%	2,41%	2,36%	2,53%	2,20%	2,08%	3,33%	3,22%
	Erro	0,00032	0,00037	0,00022	0,00014	0,00013	0,00013	0,00016	0,00011	0,00014	0,00015	0,00014	0,00013	0,00032	0,00031

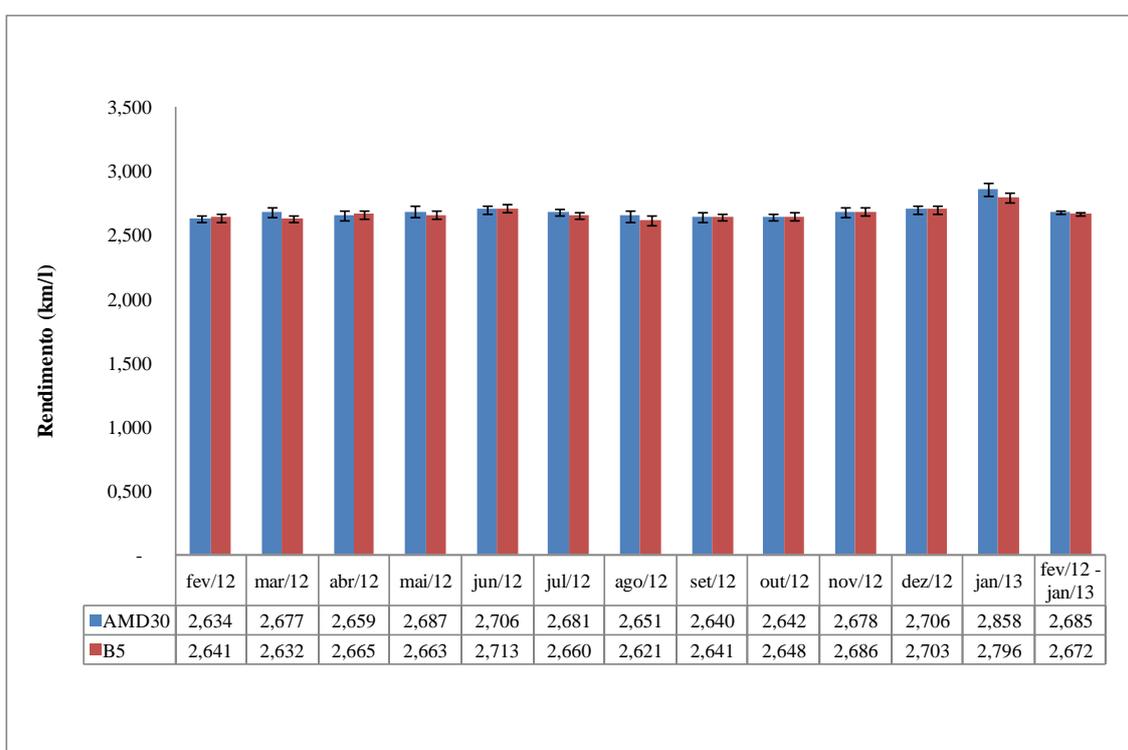
Tabela 8: Resultados do período de setembro de 2012 a janeiro de 2013 após tratamento estatístico.

Itens analisados		set/12		out/12		nov/12		dez/12		jan/13		Acumulado	
		Amd	B5	Amd	B5								
Rendimento [km/l]	Mínimo	2,602	2,615	2,614	2,619	2,641	2,653	2,674	2,672	2,804	2,764	2,674	2,662
	Médio	2,640	2,641	2,642	2,648	2,678	2,686	2,706	2,703	2,858	2,796	2,685	2,672
	Máximo	2,678	2,666	2,669	2,676	2,715	2,719	2,739	2,733	2,912	2,829	2,696	2,681
Consumo específico [l/pass.km]	Mínimo	0,00560	0,00555	0,00559	0,00558	0,00452	0,00468	0,00459	0,00464	0,00449	0,00460	0,00566	0,00578
	Médio	0,00576	0,00566	0,00571	0,00571	0,00464	0,00479	0,00470	0,00475	0,00467	0,00471	0,00571	0,00583
	Máximo	0,00593	0,00577	0,00584	0,00583	0,00477	0,00491	0,00482	0,00486	0,00486	0,00482	0,00576	0,00587
	Desvio padrão	0,00017	0,00011	0,00012	0,00012	0,00013	0,00012	0,00011	0,00011	0,00018	0,00011	0,00005	0,00004
	n	477	504	516	518	456	483	473	484	462	481	5664	5992
	t	1,96495	1,96468	1,96457	1,96455	1,96518	1,96404	1,96499	1,96487	1,96511	1,96490	1,96038	1,96036
	KS-c	0,17	0,20	0,15	0,19	0,16	0,18	0,15	0,17	0,17	0,18	0,18	0,16
	KS-T	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,29
	%erro	2,90%	1,93%	2,18%	2,17%	2,75%	2,47%	2,42%	2,35%	3,88%	2,34%	0,83%	0,71%
Erro	0,00017	0,00011	0,00012	0,00012	0,00013	0,00012	0,00011	0,00011	0,00018	0,00011	0,00005	0,00004	

Legenda: AMD = AMD30; n = número de observações; t = valor tabelado da função t de Student; KS-c = valor calculado para o teste Kolmogorov-Smirnov; KS-T = valor tabelado para o teste Kolmogorov-Smirnov.

Nota: em função do tamanho da amostra (n) para a aplicação dos testes Kolmogorov-Smirnov foram consideradas 10 classes de frequência para os meses e 20 classes de frequência para os dados acumulados.

A Figura 5 apresenta o resultado obtido para os meses de fevereiro de 2012 a janeiro de 2013 e o resultado acumulado. Em 7 das 13 situações analisadas, o rendimento do AMD30 mostrou-se 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.



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

Figura 5: Comparação do rendimento médio.

Quando analisado o rendimento dos veículos por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana (dias úteis e fim de semana), para o período de fevereiro de 2012 a janeiro de 2013, verifica-se que em todas as observações os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram melhor rendimento do que os abastecidos com B5 (Figura 6).

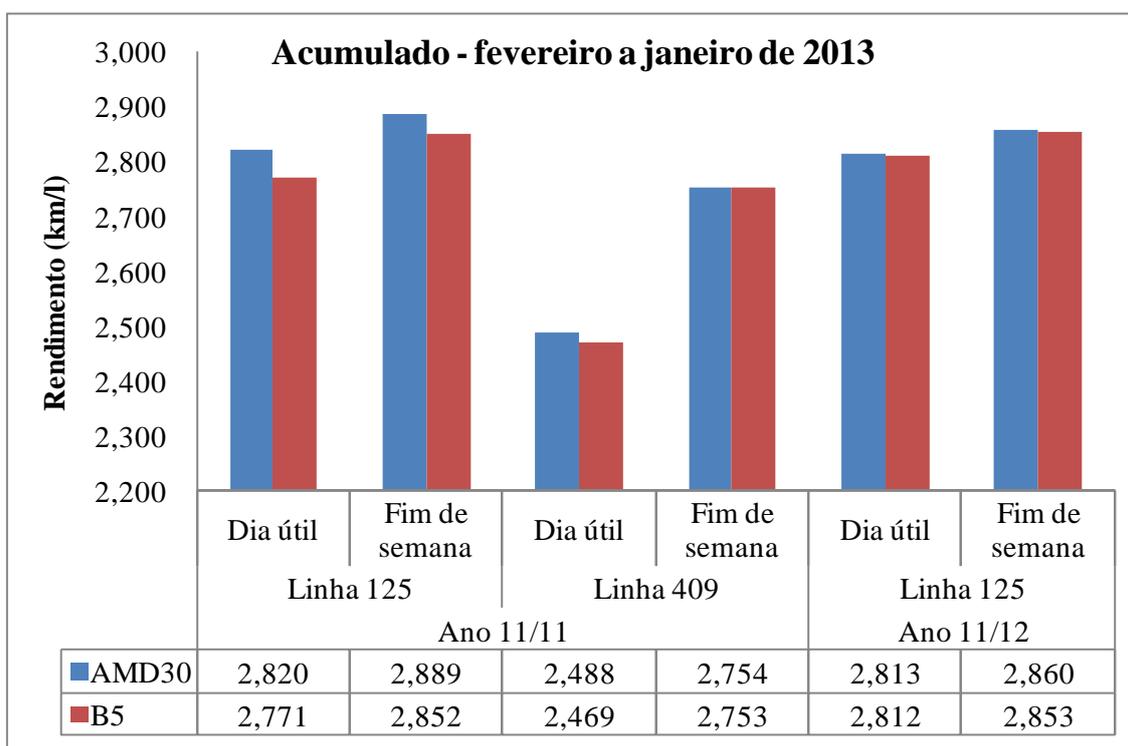
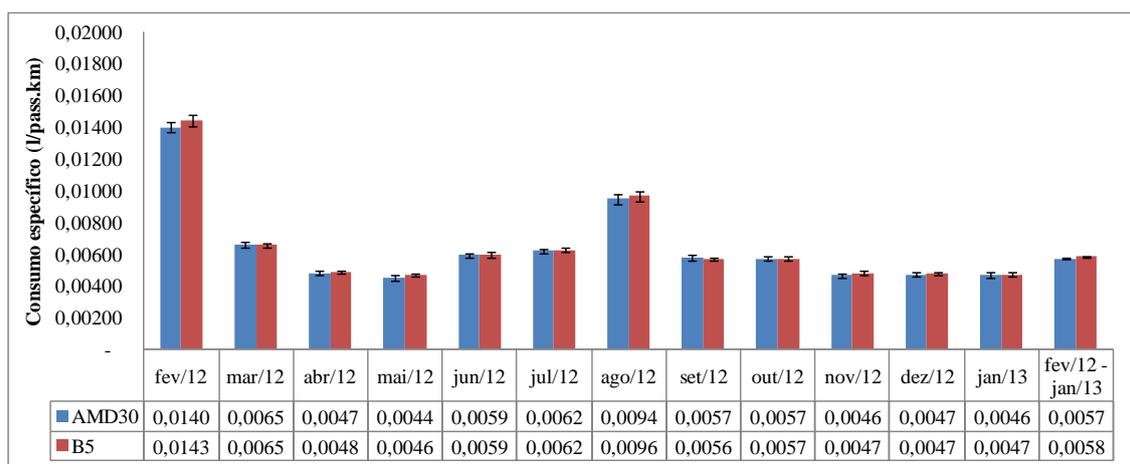


Figura 6: Comparação do rendimento dos veículos abastecidos com AMD30 e B5 por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana.

A Figura 7 apresenta o resultado do consumo específico (l/pass.km) obtido para os meses de fevereiro de 2012 a janeiro de 2013. 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 incerteza estatística inferior a 1% para confiança estatística de 95%.

Quando analisado mensalmente, verifica-se que os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram, na maioria das vezes, menor consumo específico (l/pass.km) (-2,64% em fevereiro, -1,58% em abril, -3,66% em maio, -0,86% em junho, -0,84% em julho, 1,73% em agosto, -3,16% em novembro, -0,94% em dezembro e -0,77% em janeiro de 2013) do que os veículos abastecidos com B5. Apenas nos meses de março, setembro e outubro os veículos abastecidos com B5 apresentaram menor consumo específico (0,14%, 1,87% e 0,14%, respectivamente) em relação aos abastecidos com AMD30. Os resultados foram obtidos com incerteza estatística variando entre 1,98% e 3,88% para um nível de confiança estatística de 95%.



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

Figura 7: Comparação do consumo específico médio (l/pass.km) dos veículos abastecidos com AMD30 e B5.

Ao avaliar o consumo específico (l/pass.km) referente ao mês de fevereiro (Figura 8), detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana (dias úteis e fim de semana), observa-se que, com exceção dos valores observados para os veículos de ano 11/11, que rodaram nos finais de semana e feriados na linha 409, os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram um menor consumo específico (l/pass.km) do que os veículos abastecidos com B5.

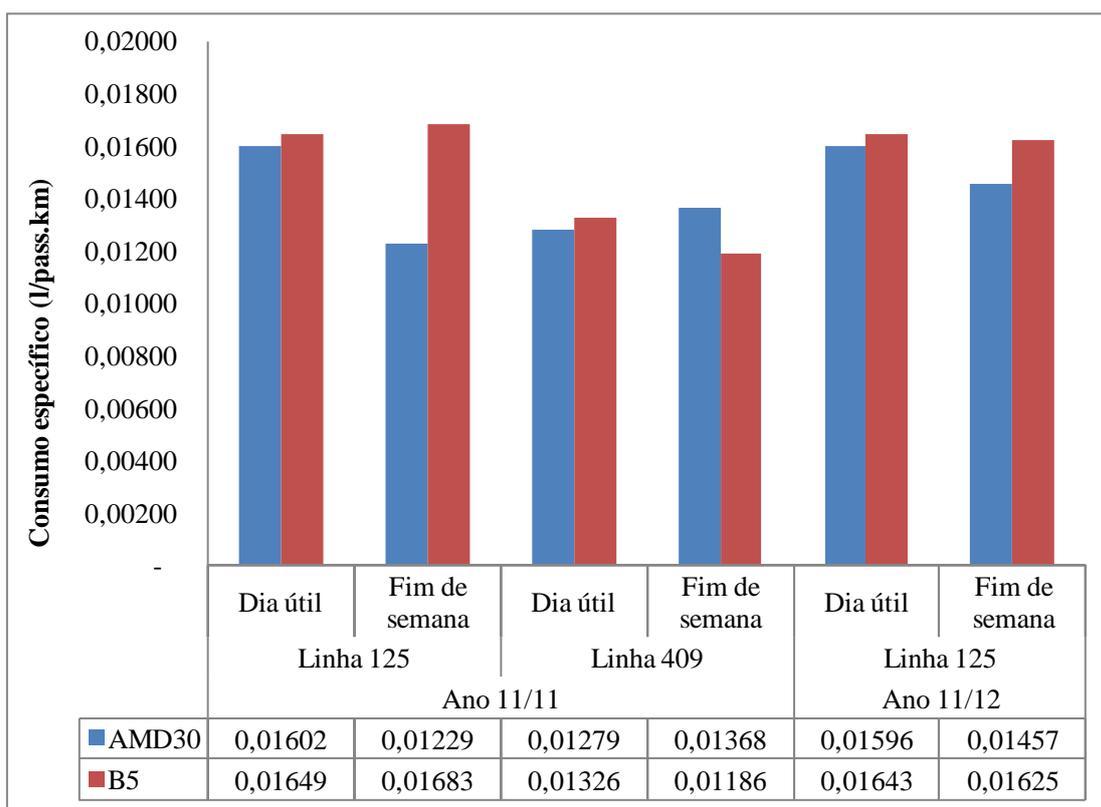


Figura 8: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de fevereiro.

No mês de março, não foi possível analisar os dados dos veículos de ano 11/11 que rodaram na linha 125 nos finais de semana e feriados, em virtude da falta de dados. Para os demais itens analisados, os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram consumo específico (l/pass.km), detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana (dias úteis e fim de semana) maior, na maioria das situações, do que os veículos abastecidos com B5 (Figura 9).

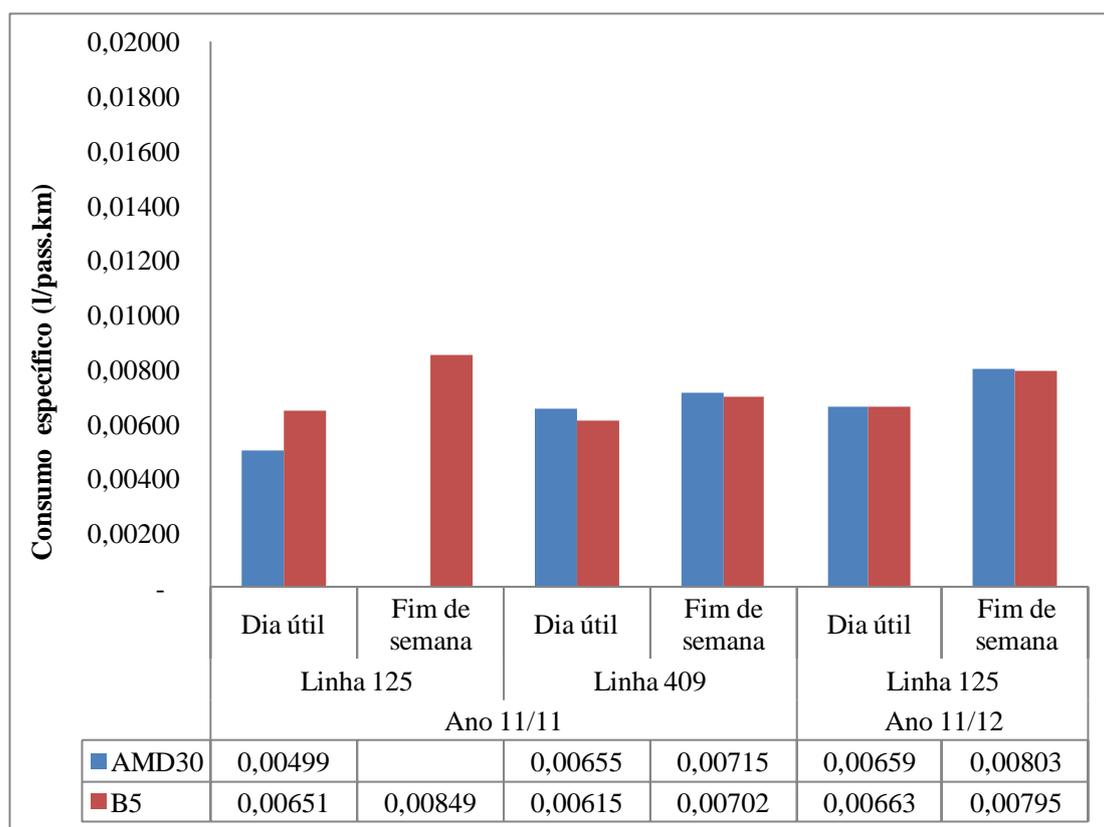


Figura 9: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de março.

No mês de abril, ao se avaliar o consumo específico (l/pass.km) (Figura 10) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana (dias úteis e fim de semana), observa-se que na maioria das situações os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram um menor consumo específico (l/pass.km) do que os veículos abastecidos com B5. A exceção foram os valores observados para os veículos de ano 11/11, que rodaram nos dias úteis e finais de semana e feriados na linha 125.

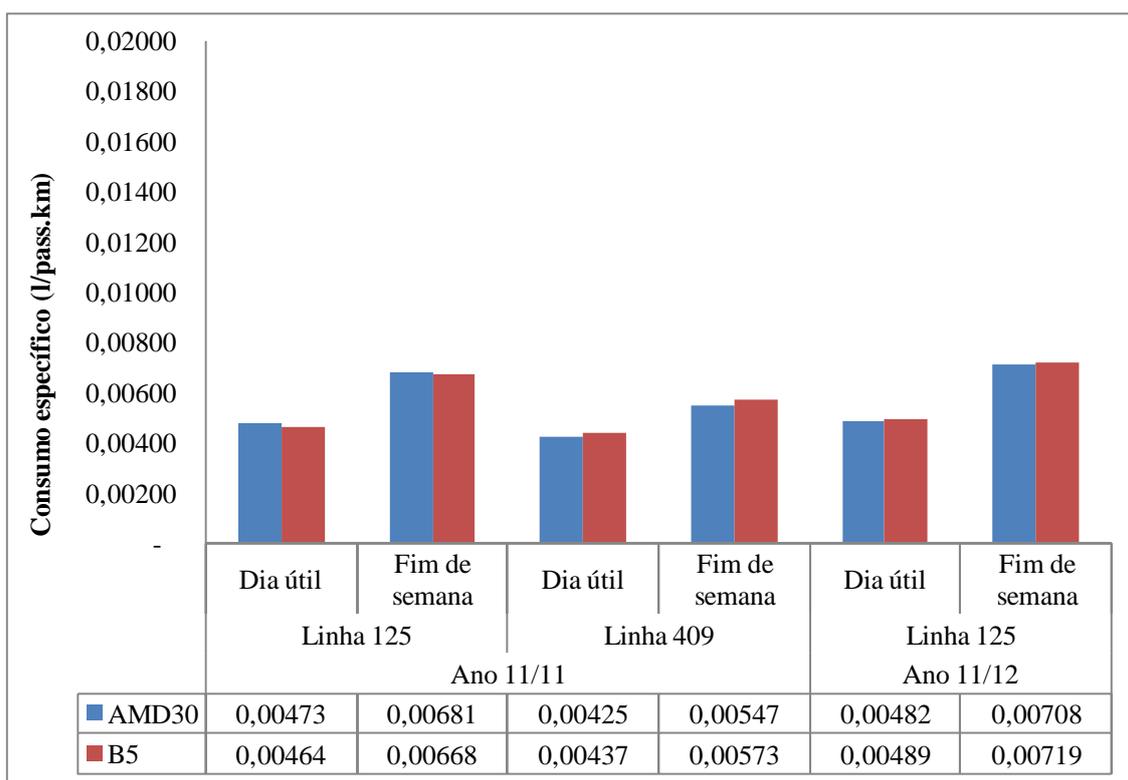


Figura 10: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de abril.

No mês de maio, verificou-se que com exceção dos valores obtidos para os veículos de ano 11/11 que rodaram nas linhas 125 e 409 nos finais de semana e feriados, os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram um menor consumo específico (l/pass.km) do que os veículos abastecidos com B5 (Figura 11).

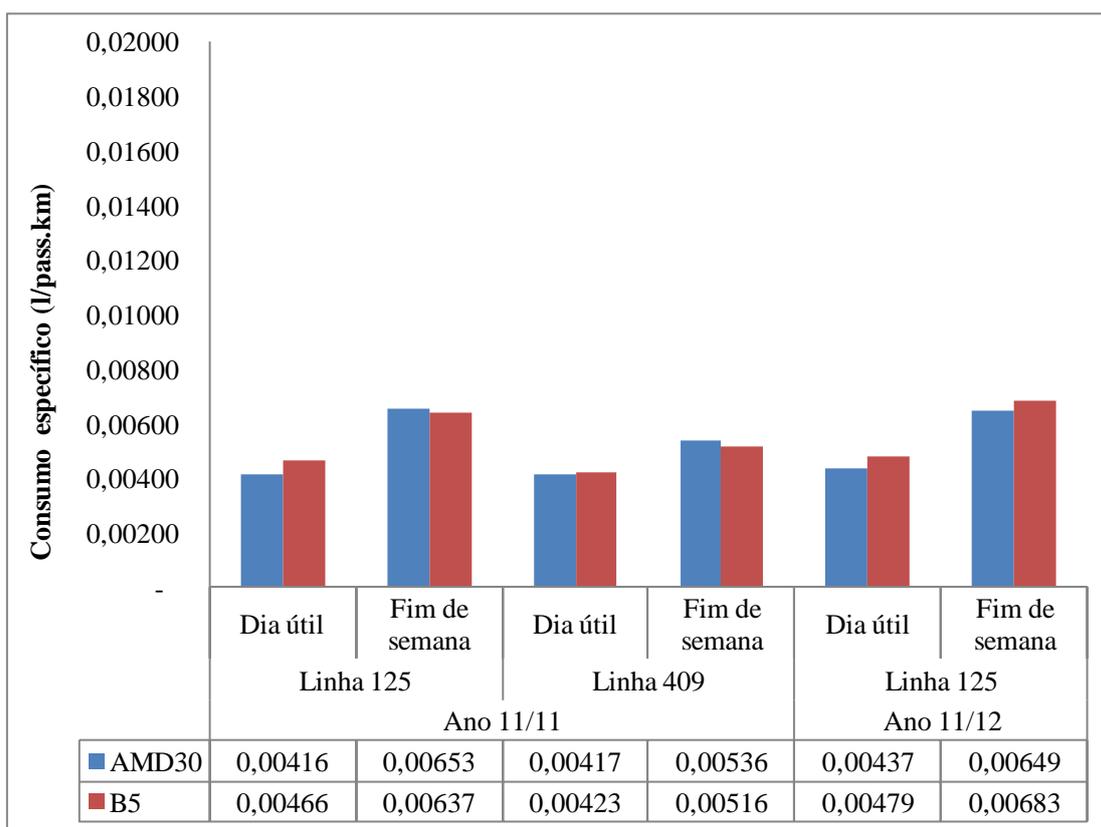


Figura 11: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de maio.

No mês de junho, ao se avaliar o consumo específico (l/pass.km) (Figura 12) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana (dias úteis e fim de semana), observa-se que na metade das situações os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram um menor consumo específico (l/pass.km) do que os veículos abastecidos com B5.

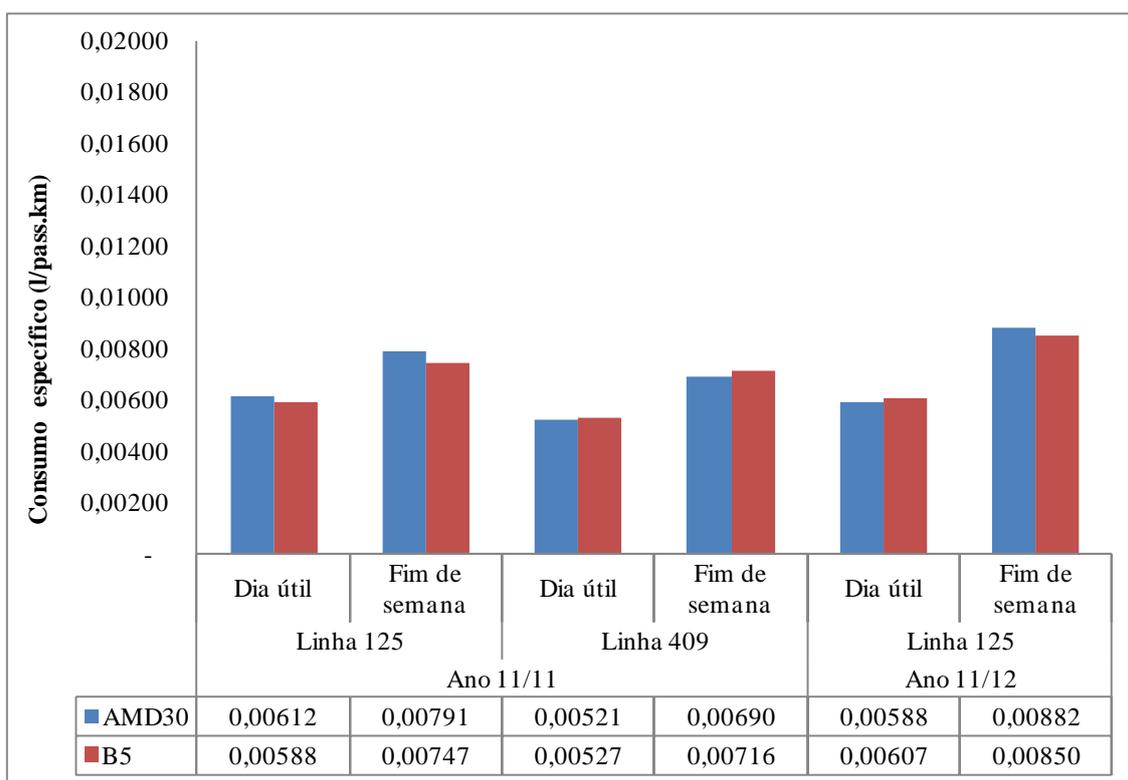


Figura 12: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de junho.

No mês de julho, ao se avaliar o consumo específico (l/pass.km) (Figura 13) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana (dias úteis e fim de semana), observa-se que na maioria das situações os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram um menor consumo específico (l/pass.km) do que os veículos abastecidos com B5. As exceções foram os valores observados para os veículos de ano 11/12, que rodaram na linha 125, tanto nos dias úteis quanto nos fins de semana e feriados.

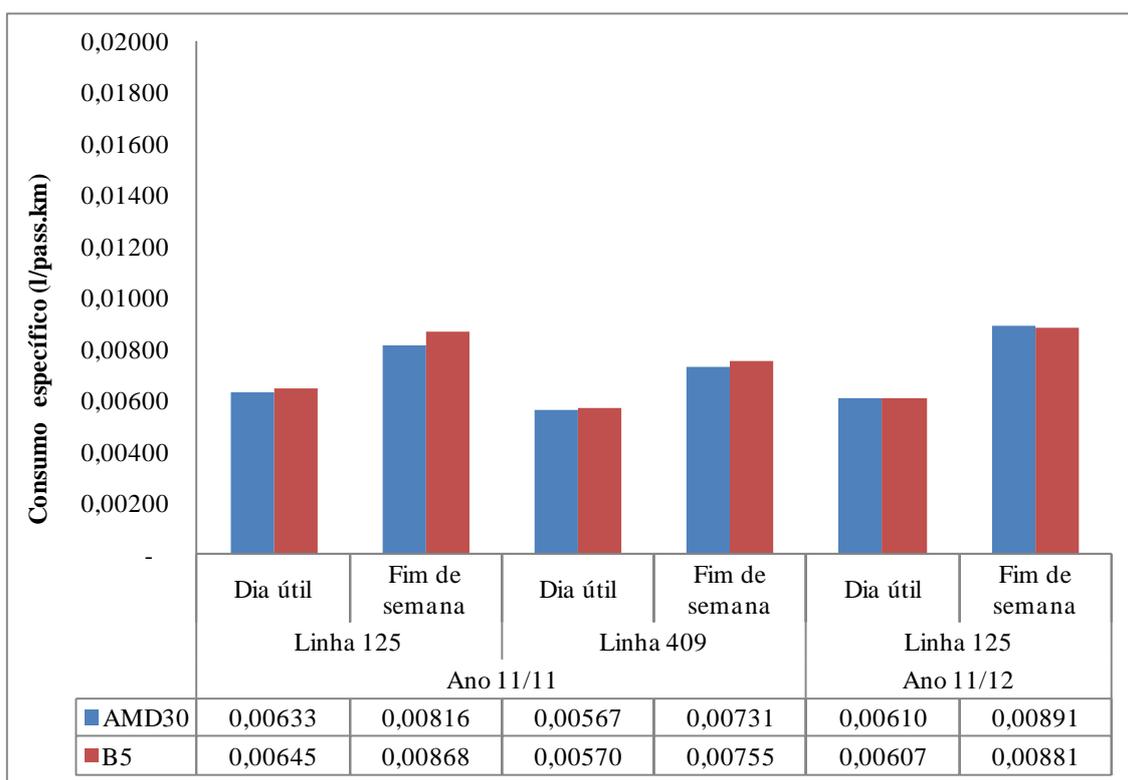


Figura 13: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de julho.

No mês de agosto verificou-se que, com exceção dos valores obtidos para os veículos de ano 11/11 que rodaram nas linhas 125 nos finais de semana e dias úteis e os veículos ano 11/12 que rodaram na linha 125 nos finais de semana, os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram um menor consumo específico (l/pass.km) do que os veículos abastecidos com B5 (Figura 14).

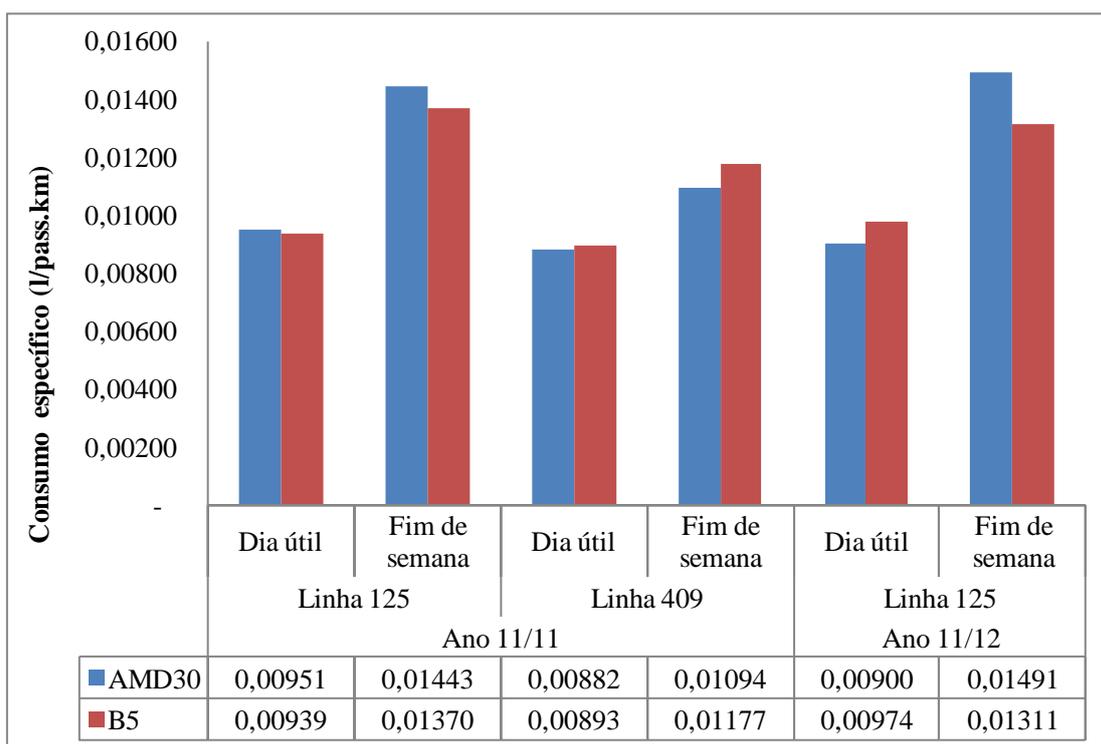


Figura 14: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de agosto.

No mês de setembro, ao se avaliar de consumo específico (l/pass.km) (Figura 15) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana (dias úteis e fim de semana), observa-se que com exceção dos veículos ano/modelo 11/11 abastecidos com AMD30 que rodaram na linha 125 nos finais de semana e na linha 409 nos dias úteis, os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram um consumo específico (l/pass.km) maior do que os veículos abastecidos com B5.

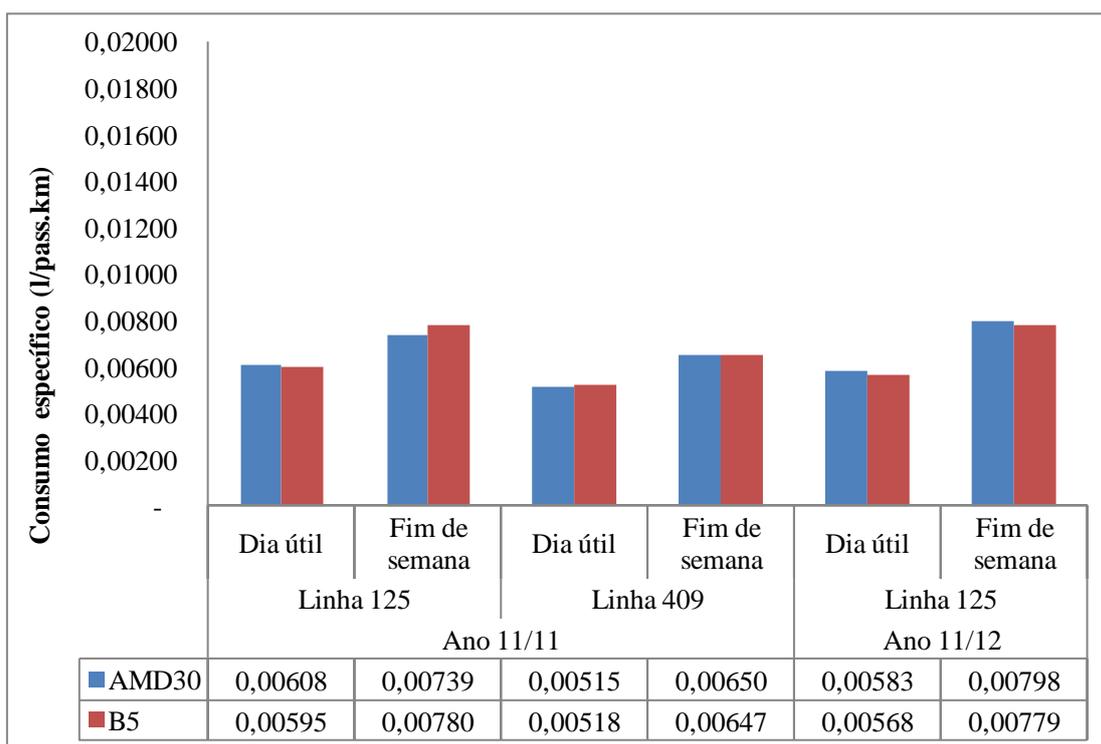


Figura 15: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de setembro.

No mês de outubro, ao se avaliar de consumo específico (l/pass.km) (Figura 16) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana (dias úteis e fim de semana), observa-se que, com exceção dos veículos ano 11/12 que rodaram na linha 125 nos finais de semana e dias úteis, os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram um consumo específico (l/pass.km) menor do que os veículos abastecidos com B5.

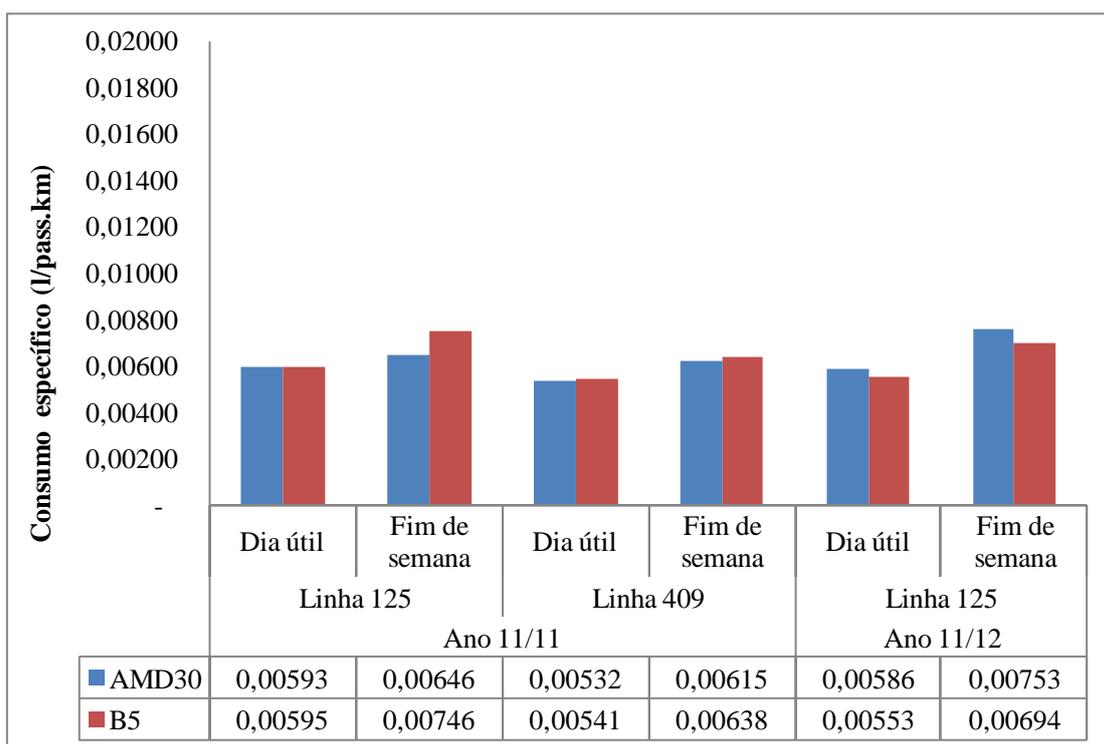


Figura 16: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de outubro.

No mês de novembro, ao se avaliar de consumo específico (l/pass.km) (Figura 17) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana (dias úteis e fim de semana), observa-se que em 5 das 6 situações analisadas os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram um consumo específico (l/pass.km) menor do que os veículos abastecidos com B5.

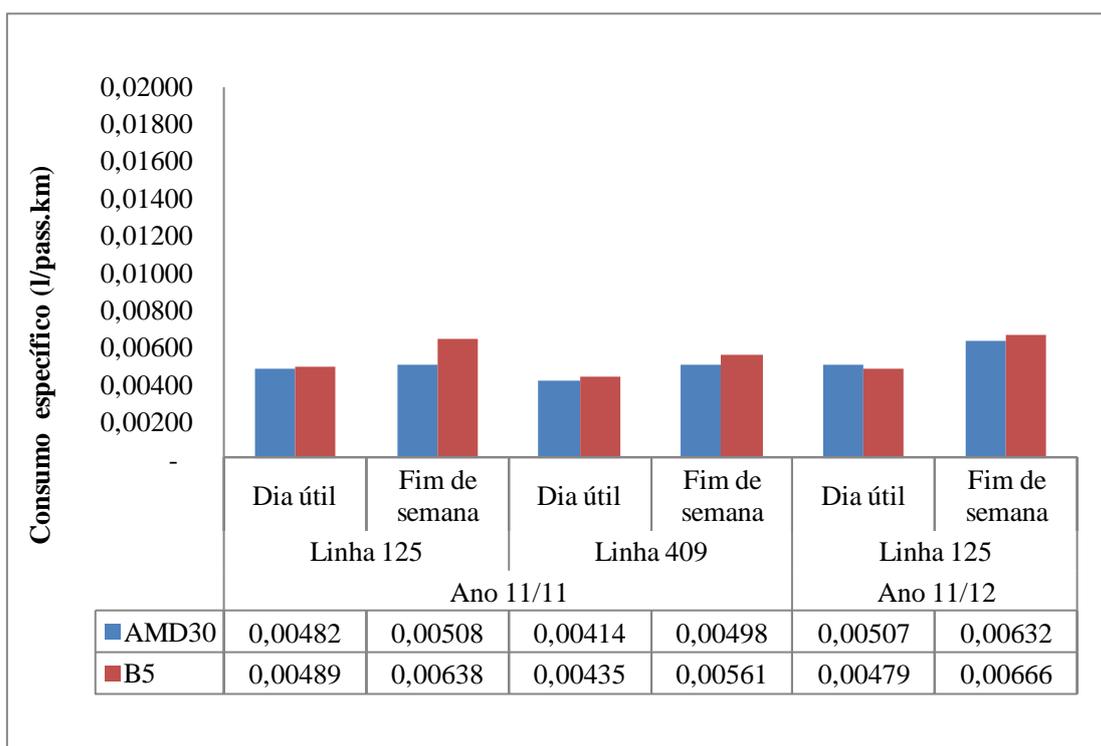


Figura 17: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de novembro³.

No mês de dezembro, ao se avaliar de consumo específico (l/pass.km) (Figura 18) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana (dias úteis e fim de semana), observa-se que na maioria das situações analisadas os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram um consumo específico (l/pass.km) menor do que os veículos abastecidos com B5. Apenas os veículos abastecidos com AMD30 da linha 409 ano 11/11 que rodaram em fins de semana e feriados e da linha 125 ano 11/12 que rodaram nos dias úteis apresentaram consumo específico maior que os veículos movidos a B5.

³ No mês de novembro não foram recebidos os dados de abastecimento de combustível para os veículos movidos a AMD30 e B5. Desse modo, para o cálculo dos dados de l/pass.km utilizou-se o valor de combustível calculado a partir do rendimento (km/l) e da quilometragem (km) informados. O veículo 71.607 não consta nos dados analisados de novembro uma vez que o mesmo sofreu um acidente e esteve parado para lanternagem.

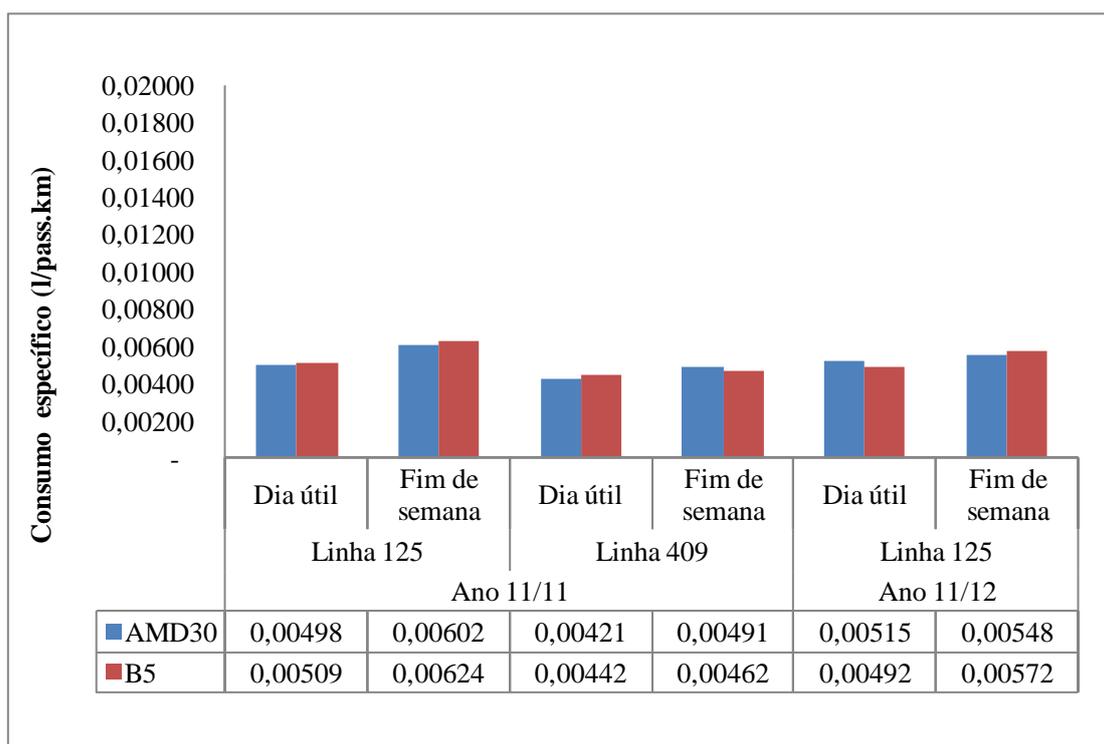


Figura 18: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de dezembro.

No mês de janeiro de 2013, ao se avaliar de consumo específico (l/pass.km) (Figura 19) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana (dias úteis e fim de semana), observa-se que na maioria das situações analisadas os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram um consumo específico (l/pass.km) menor do que os veículos abastecidos com B5, a exceção está apenas nos veículos da linha 125 ano 11/12 que rodaram em dias úteis.

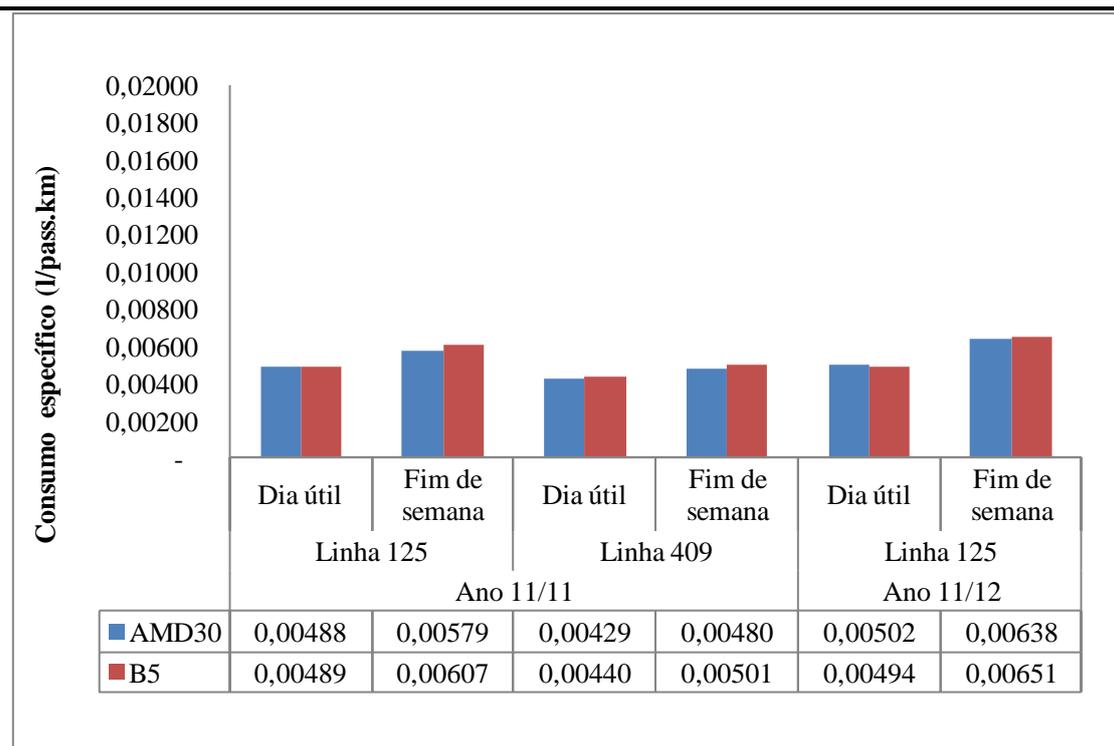


Figura 19: Comparação do consumo específico (l/pass.km) detalhado por ano/modelo do veículo, linha operada e período da semana dos veículos abastecidos com AMD30 e B5, para o mês de janeiro de 2013.

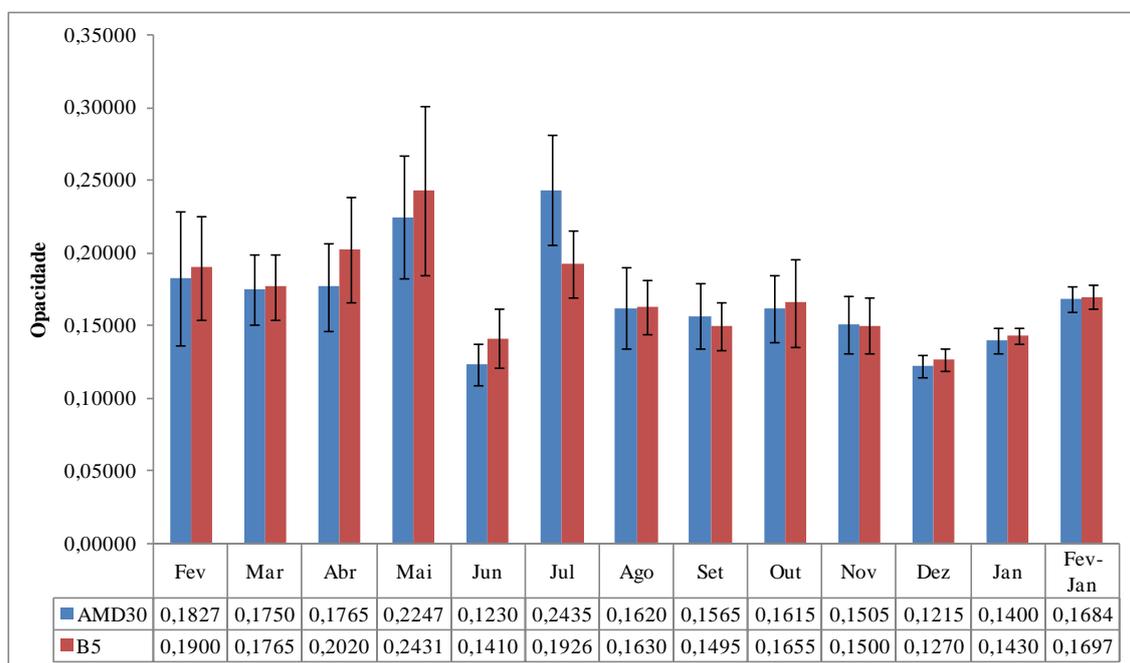
6.2 Opacidade dos gases de escapamento dos motores

Foram analisados os dados de leitura de opacidade, medidos para os quarenta ônibus em estudo, obtidos pelas vistorias mensais referentes ao período de fevereiro/2012 a janeiro/2013. Foram calculados a média e o desvio padrão para as leituras de opacidade das emissões de escapamento, tanto para os ônibus abastecidos com AMD30 quanto para os ônibus abastecidos com B5.

O teste de Kormogorov-Smirnov apresentou valores de KS-c variando entre 0,14 e 0,46, para valores de KS-T entre 0,41 e 0,56, respectivamente, confirmando a normalidade dos dados.

A partir da Figura 20 é possível verificar que 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, superior 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 $1,7 \text{ m}^{-1}$.



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

Figura 20: Leitura da opacidade realizada nos veículos abastecidos com AMD30 e B5.

6.3 Caracterização das amostras de combustível

O combustível produzido pela Amyris Brasil Ltda. (AMD100) e o combustível contendo cerca de 30% do mesmo produto (AMD30) foram analisados pelo COPPEComb (Centro de Pesquisas e Caracterização de Petróleo e Combustíveis da COPPE) para determinação de sua conformidade com a legislação em vigor, Resolução ANP 65/2011, da Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP). As 2 (duas) amostras de AMD100 foram amostradas e entregues ao COPPEComb pela Petrobras Distribuidora S.A., enquanto que as amostras do AMD30 foram amostradas (Figura 21 e 22) mensalmente pelo COPPEComb no tanque de armazenamento (Figura 23) instalado na antiga Viação Saens Peña S.A.

Todas as amostras foram analisadas em duplicata e os resultados apresentados neste relatório são a média das duas determinações. O ANEXO I apresenta o resultado dos ensaios realizados.

Ressalva-se que o método EN 14112, utilizado para determinação da estabilidade à oxidação das amostras é específico para avaliação da estabilidade à oxidação de ésteres metílicos e não é amparado pela Resolução ANP 65/2011, sendo os resultados apenas informativos.

Em função do elevando custo do método específico para a determinação do número de cetano, os parceiros do projeto optaram por considerar o método ASTM D4737, que não é amparado pela Resolução ANP 65/2011, para estimar o índice de cetano (número de cetano calculado). Ressalva-se que este método não é uma alternativa à determinação experimental do número de cetano, não sendo aplicável a misturas contendo biodiesel e não recomendado para misturas que exibam resultados fora do intervalo de 32 a 57 para o índice de cetano.



Figura 21: Amostragem do AMD30.



Figura 22: Última amostra de AMD30.



Figura 23: Tanque de abastecimento de AMD30.

6.3.1. Amostras de AMD100

Foram recebidas do TEDUC somente duas amostras de AMD100, cujos resultados analíticos encontram-se tabelados nos CERTIFICADOS N° 01/2012 e 11/2012 (ANEXO I).

Pode-se observar que as amostras de AMD100 possuem baixa massa específica em relação ao diesel de petróleo, tornando o produto não conforme para sua utilização no teor de 100% (AMD100).

Em relação ao diesel de petróleo, o produto mostra também proporcionar uma menor lubricidade, embora ainda esteja dentro das especificações estabelecidas pela Resolução n° 65/2011.

Foram encontrados resultados não conformes para a contaminação total nas amostras de AMD100, contudo, estes valores elevados foram encontrados também nas amostras de AMD30, evidenciando ser um problema de contaminação em transporte ou no tanque.

6.3.2. Amostras de AMD30

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 AMD100 a mistura B5 pode-se citar um aumento no índice de cetano, em razão do produto da Amyris Brasil Ltda. ser um hidrocarboneto de cadeia saturada ($\text{C}_{15}\text{H}_{32}$) e com poucas ramificações (3 no total). O produto possui ainda um 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.

6.3.3. Conclusões sobre a caracterização das amostras de combustível

Os testes foram realizados com produtos que obedecem à resolução da ANP 65/2011. O produto da Amyris Brasil Ltda pode ser utilizado em adição ao B5, porém as conclusões limitam-se ao teor testado de 30%, que apresentou resultados que obedecem aos limites estabelecidos na legislação vigente.

6.4 Análise do óleo lubrificante

A análise do lubrificante foi realizada pela Shell Brasil S.A. por conta da Mercedes-Benz do Brasil Ltda. Foram retiradas amostras de óleo no período de março de 2012 a janeiro de 2013 de 4 veículos operando com B5 (71512, 71518, 71524 e 71579) e 4 veículos operando com AMD30 (71507, 71515, 71607 e 71611). Os resultados quantitativos da análise do óleo lubrificante para as amostras retiradas entre os meses de março de 2012 a janeiro de 2013 encontram-se nos laudos detalhados apresentados no ANEXO II. Os diagnósticos e ações recomendadas para as análises realizadas encontram-se sintetizadas nas Tabelas 9 e 10.

Segundo relato apresentado no ANEXO III (Relatório Técnico – Teste com Diesel de Cana AMD30) elaborado pela Mercedes-Benz do Brasil Ltda houve inconsistência nos resultados das amostras de óleo lubrificante coletadas nos meses de junho e julho, motivo pelo qual elas não puderam ser consideradas e foram descartadas e a sua “Situação” nas Tabelas 9 e 10 aparece como “Descartada”, indicando que a amostra não foi considerada.

Não foi realizada a coleta de óleo lubrificante no motor do veículo 71607 em 26/01/2013 pois este se encontrava em reparos de lanternagem por ter sofrido um acidente.

Tabela 9: Resultados obtidos para a análise do lubrificante de uma amostra de veículos abastecidos com B5.

Combustível	Nº Veículo	Nº Amostra	Situação	Data	Diagnóstico	Ações recomendadas
Sombra	71512	1900005205	Atenção	23/04/2012	O lubrificante apresenta moderada contaminação externa por silício (poeira/areia). Até o momento, não há comprometimento do equipamento em razão desta contaminação. As demais características do lubrificante analisado são consideradas normais para o período de uso informado.	Recomenda-se checar o filtro de ar (se não há furos ou mau assentamento), conexões e mangueiras do sistema de admissão de ar e demais pontos vulneráveis à contaminação externa do lubrificante tais como vareta de nível e bocal de abastecimento.
		1900010038	Descartada	02/06/2012	Inconsistente.	
		19000010050	Descartada	07/07/2012	Inconsistente.	
		1900009976	Atenção	18/08/2012	O lubrificante apresenta elevada contaminação externa por silício (poeira/areia). Até o momento, não há comprometimento do equipamento em razão desta contaminação. As demais características do lubrificante analisado são consideradas normais para o período de uso informado.	É recomendável efetuar substituição do óleo, tomando a precaução de efetuar uma limpeza no compartimento antes do enchimento com óleo novo. Seria recomendável uma ação preventiva no sentido de evitar a entrada de poeira/areia pelos bocais e respiro do compartimento principalmente no momento da troca do óleo, momento muito propício a este tipo de contaminação, evitando assim a reincidência do problema.
		1900009955	Bom	20/10/2012	Os resultados das análises apresentam-se normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento. Atenção as reposições que provavelmente foram realizadas e não foram informadas.	-
		190289700	Atenção	26/01/2013	O lubrificante apresenta moderada contaminação externa por silício (poeira/areia). Até o momento, não há comprometimento do equipamento em razão desta contaminação. As demais características do lubrificante analisado são consideradas normais para o período de uso informado.	Recomenda-se checar o filtro de ar (se não há furos ou mau assentamento), conexões e mangueiras do sistema de admissão de ar e demais pontos vulneráveis à contaminação externa do lubrificante tais como vareta de nível e bocal de abastecimento.

Combustível	Nº Veículo	Nº Amostra	Situação	Data	Diagnóstico	Ações recomendadas
Sombra	71518	1900005206	Atenção	23/04/2012	O lubrificante apresenta moderada contaminação externa por silício (poeira/areia). Até o momento, não há comprometimento do equipamento em razão desta contaminação. As demais características do lubrificante analisado são consideradas normais para o período de uso informado.	Recomenda-se checar o filtro de ar (se não há furos ou mau assentamento), conexões e mangueiras do sistema de admissão de ar e demais pontos vulneráveis à contaminação externa do lubrificante tais como vareta de nível e bocal de abastecimento
		1900010039	Descartada	02/06/2012	Inconsistente.	
		19000010051	Descartada	07/07/2012	Inconsistente.	
		1900009975	Atenção	18/08/2012	O lubrificante apresenta moderada contaminação externa por silício (poeira/areia). Até o momento, não há comprometimento do equipamento em razão desta contaminação. As demais características do lubrificante analisado são consideradas normais para o período de uso informado.	É recomendável efetuar substituição do óleo, tomando a precaução de efetuar uma limpeza no compartimento antes do enchimento com óleo novo. Seria recomendável uma ação preventiva no sentido de evitar a entrada de poeira/areia pelos bocais e respiro do compartimento principalmente no momento da troca do óleo, momento muito propício a este tipo de contaminação, evitando assim a reincidência do problema.
		19000009954	Bom	20/10/2012	Os resultados das análises apresentam-se normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento. Favor considerar elevada reposição que não foi informada.	-
		190289697	Atenção	26/01/2013	O lubrificante apresenta moderada contaminação externa por silício (poeira/areia). Até o momento, não há comprometimento do equipamento em razão desta contaminação. As demais características do lubrificante analisado são consideradas normais para o período de uso informado.	Recomenda-se checar o filtro de ar (se não há furos ou mau assentamento), conexões e mangueiras do sistema de admissão de ar e demais pontos vulneráveis à contaminação externa do lubrificante tais como vareta de nível e bocal de abastecimento.

Combustível	No Veículo	No Amostra	Situação	Data	Diagnóstico	Ações recomendadas
Sombra	71524	1900005207	Bom	23/04/2012	Os resultados das análises apresentam-se normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	-
		190010040	Descartada	02/06/2012	Inconsistente.	
		19000010052	Descartada	07/07/2012	Inconsistente.	
		1900009974	Bom	18/08/2012	Os resultados das análises são normais, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	Recomendamos verificarem o tempo de uso informado, pois não condiz com os resultados obtidos, provavelmente não é a mesma carga da amostra anterior.
		190289686	Bom	26/01/2013	Os resultados das análises apresentam-se normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento. Percebe-se possível influência de elevada reposição de óleo, favor verificar.	-

Combustível	No Veículo	No Amostra	Situação	Data	Diagnóstico	Ações recomendadas
Sombra	71579	1900005208	Atenção	23/04/2012	O lubrificante apresenta moderada contaminação externa por silício (poeira/areia). Até o momento, não há comprometimento do equipamento em razão desta contaminação. As demais características do lubrificante analisado são consideradas normais para o período de uso informado.	Recomenda-se checar o filtro de ar (se não há furos ou mau assentamento), conexões e mangueiras do sistema de admissão de ar e demais pontos vulneráveis à contaminação externa do lubrificante tais como vareta de nível e bocal de abastecimento.
		1900009939	Atenção	17/05/2012	O lubrificante apresenta moderada contaminação externa por silício (poeira/areia). Até o momento, não há comprometimento do equipamento em razão desta contaminação. As demais características do lubrificante analisado são consideradas normais para o período de uso informado.	Recomenda-se checar o filtro de ar (se não há furos ou mau assentamento), conexões e mangueiras do sistema de admissão de ar e demais pontos vulneráveis à contaminação externa do lubrificante tais como vareta de nível e bocal de abastecimento.
		1900010041	Descartada	02/06/2012	Inconsistente.	
		19000010053	Descartada	07/07/2012	Inconsistente.	
		1900009973	Bom	18/08/2012	Os resultados das análises são normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento. Entretanto verifica-se que a carga de lubrificante provavelmente não é a mesma da anterior, ou houve grande reposição, favor verificar.	-
		190289675	Bom	26/01/2013	Os resultados das análises são normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	-

Fonte: Machado (2012).

Tabela 10: Resultados obtidos para a análise do lubrificante de uma amostra de veículos abastecidos com AMD30.

Combustível	No Veículo	No Amostra	Situação	Data	Diagnóstico	Ações recomendadas
AMD30	71507	1900005162	Bom	31/03/2012	Os resultados das análises apresentam-se normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	-
		1900010034	Descartada	02/06/2012	Inconsistente.	
		19000010045	Descartada	07/07/2012	Inconsistente.	
		1900009980	Bom	18/08/2012	Os resultados das análises são normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento. Verifica-se leve presença de água que pode ser considerado normal, mas afetando a realização do teste de viscosidade a 100°C.	-
		19000009959	Bom	20/10/2012	Os resultados das análises são normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	-
		190289733	Bom	26/01/2013	Os resultados das análises são normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento. Percebe-se possível influência de elevada reposição de óleo, favor verificar.	-

Combustível	No Veículo	No Amostra	Situação	Data	Diagnóstico	Ações recomendadas
AMD30	71515	1900005163	Bom	31/03/2012	Os resultados das análises apresentam-se normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	-
		1900009941	Bom	05/05/2012	Os resultados das análises apresentam-se normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	-
		1900010035	Descartada	02/06/2012	Inconsistente.	
		19000010046	Descartada	07/07/2012	Inconsistente.	
		1900009979	Bom	18/08/2012	Os resultados das análises são normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento. Entretanto verifica-se que a carga de óleo não é a mesma da amostra anterior, favor verificar.	-
		190289722	Bom	26/01/2013	Os resultados das análises são normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento. Percebe-se possível influência de elevada reposição de óleo, favor verificar.	-

Combustível	No Veículo	No Amostra	Situação	Data	Diagnóstico	Ações recomendadas
AMD30	71607	1900005164	Bom	31/03/2012	Os resultados das análises apresentam-se normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	-
		1900010036	Descartada	02/06/2012	Inconsistente.	
		19000010047	Descartada	07/07/2012	Inconsistente.	
		1900009978	Bom	18/08/2012	Os resultados das análises são normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	-
		19000009957	Bom	20/10/2012	Os resultados das análises são normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento. Atenção as reposições que provavelmente foram realizadas e não foram informadas, pois a condição do óleo não condiz com o tempo de utilização informado.	-

Combustível	No Veículo	No Amostra	Situação	Data	Diagnóstico	Ações recomendadas
AMD30	71611	1900005204	Bom	31/03/2012	Os resultados das análises apresentam-se normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	-
		190009940	Atenção	17/05/2012	As condições de desgaste deste componente estão normais, porém verificamos possível contaminação da amostra com outro lubrificante diferente do especificado, evidenciado pela discreta diferente aditivização.	Recomendamos verificar os procedimentos de coleta de amostras e reposição de nível de forma a evitar a contaminação com outro lubrificante.
		1900010037	Descartada	02/06/2012	Inconsistente	
		19000010049	Descartada	07/07/2012	Inconsistente	
		1900009977	Bom	18/08/2012	Os resultados das análises são normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	-
		190289711	Bom	26/01/2013	Os resultados das análises são normais para o período de utilização informado, não havendo alterações significativas nas propriedades do lubrificante. Não há evidência de desgaste severo ou condição anormal de funcionamento do equipamento.	-

Fonte: Machado (2012).

Conforme apresentado no ANEXO III, a despeito da contaminação por silício e água, que são agentes externos, respectivamente relacionados à contaminação por poeira e areia e a umidade, os demais indicadores de desgaste do motor, como metais diversos e fuligem e de desgaste do óleo, como a viscosidade, estavam dentro dos níveis considerados como normais não indicando algum tipo de desgaste mais acelerado que poderia ser atribuído ao uso de AMD30.

6.5 Teste de desempenho dos veículos.

O teste de desempenho dos veículos foi realizado pela Mercedes-Benz do Brasil Ltda. Foram analisados 2 (dois) veículos, sendo 1 (um) abastecido com B5 (71512) e o outro abastecido com AMD30 (71515).

Os resultados deste teste encontram-se detalhados no ANEXO III e não se percebe diferenças nos torques, rotações do motor ou outras características de desempenho que pudessem evidenciar um desempenho diferenciado entre o uso de B5 e AMD30.

6.6 Operação e manutenção dos veículos em teste

A operação e manutenção da frota utilizada no teste foram monitoradas pela antiga Viação Saens Peña S.A. que não relatou qualquer ocorrência relevante de operação ou manutenção que pudesse ser associada ao uso de AMD30.

6.7 Teste de durabilidade dos motores.

O teste de durabilidade dos motores foi realizado pela Mercedes-Benz do Brasil Ltda. em motores de 4 veículos operando com B5 (71512, 71518, 71524 e 71579) e 4 veículos operando com AMD30 (71507, 71515, 71607 e 71611), sendo os mesmos que tiveram as amostras de óleo lubrificante coletadas.

Foi feita a inspeção visual (videoscopia) nos cilindros dos motores dos 8 veículos imediatamente antes do início dos testes (28 e 29 de janeiro de 2012). Isto também foi feito imediatamente depois do término dos testes (26/01/2013), bem como a análise dos bicos injetores dos veículos que utilizaram AMD30, com exceção do veículo 71607, que se encontrava em reparo de lanternagem, conforme apresentado no ANEXO III. Assim sendo, foram analisados os bicos injetores do veículo 71518 no lugar dos bicos injetores do veículo 71607, servindo de referência.

Do ANEXO III verifica-se que os motores dos 7 (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 rodaram com diesel B5.

A análise de todas as agulhas dos bicos injetores mostrou desgaste excessivo com alta incidência de perda de material na área de contato do assento das agulhas (*pitting*). Apesar

deste fenômeno ter sido observado em todos as agulhas dos bicos injetores, é mais evidente no veículo 71518 que operou com B5, isentando o AMD30 como responsável pelo fenômeno.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados dos testes realizados por 12 meses com 20 veículos que acumularam mais de 1,5 milhão de quilômetros consumindo pouco mais de 587 mil litros de mistura AMD30 e uma frota com a mesma quantidade de ônibus urbanos e quilometragem acumulada e consumo equivalente utilizando mistura B5 verificou-se que os veículos abastecidos com AMD30 apresentaram, de forma agregada, rendimento em km/l 0,49% melhor e consumo específico de combustível por passageiro por quilometro 1,95% menor do que os veículos abastecidos com B5. Estes resultados foram obtidos com incerteza estatística variando entre 0,34% e 3,88% sobre a média para um nível de confiança estatística de 95%.

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 2 combustíveis simultaneamente, o que ratifica a distribuição dos resultados apresentados e reforça a confiança da média e do seu intervalo de variação.

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 $1,7 \text{ m}^{-1}$, tendo os veículos abastecidos com AMD30 apresentado, de forma agregada, -0,77% de valor de opacidade que os abastecidos com B5. Estes resultados também foram obtidos com incerteza estatística inferior a 5,3 % da média para um nível de confiança estatística de 95%.

Em função dos resultados apresentados, conclui-se que a mistura AMD30 apresentou resultados de rendimento energético [km/l], consumo específico de combustível [l/pass.km] e opacidade [m^{-1}] estatisticamente equivalentes aos determinados para o diesel B5 a 95 % de confiança.

Adicionalmente, tanto o resultado das análises das amostras de óleo lubrificante quanto o resultado do teste de durabilidade dos motores por meio da análise videoscópica comparativa (antes do início dos testes e ao final dos mesmos) do interior dos cilindros dos motores não mostraram qualquer sinal de desgaste fora dos padrões estabelecidos e que pudessem ser atribuídos ao uso do AMD30. Segundo resultados obtidos a partir dos testes realizados pela Mercedes-Benz do Brasil Ltda (ANEXO III) os motores de todos os veículos avaliados apresentaram resultados satisfatórios quanto ao estado de conservação. As agulhas dos bicos injetores de veículos abastecidos com AMD30 e B5 apresentaram desgaste excessivo. Apesar do fenômeno ter sido observado em todas as agulhas, foi mais evidente no veículo que operou com B5, isentando o AMD30 como responsável pelo fenômeno.

O teste de desempenho de dois veículos por meio do monitoramento eletrônico embarcado não mostrou diferença de desempenho entre aquele que utilizou B5 e o que utilizou AMD30 e nenhuma diferença foi sentida pelos motoristas destes veículos.

Como resultado da caracterização do combustível utilizado verifica-se que o AMD30 apresenta características que obedecem à resolução da ANP 65/2011 e conclui-se que o produto da Amyris Brasil Ltda (AMD100) pode ser utilizado em adição ao B5, porém as conclusões limitam-se ao teor testado de 30%, que apresentou resultados que obedecem aos limites estabelecidos na legislação vigente.

AGRADECIMENTOS

A PET/COPPE/UFRJ agradece a parceria da Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (FETRANSPOR), Viação Nossa Senhora das Graças (antiga Viação Saens Peña S.A.), Mercedes-Benz do Brasil Ltda, Petrobras Distribuidora S.A., Amyris Brasil Ltda e Michelin do Brasil sem as quais este trabalho não teria sido realizado com êxito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMYRIS (2012) *Informações sobre o combustível diesel de cana*. Disponível na URL: <http://www.amyris.com/pt/mercados/combustiveis/renewable-diesel-fuel>. Acesso em fevereiro/2012.
- ANTP (2009). *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana Relatório Comparativo 2003-2009*. Associação Nacional dos Transportes Públicos, ANTP, São Paulo, SP.
- (ANP) Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2011). Resolução n° 65, 09/12/2011.
- IEA (2010). Key Word Energy Statistics 2010. International Energy Agency, Paris, França.
- Google Maps (2012). Informação sobre rota das linhas 125 e 409 da viação Saens Pena.
- Machado, A.G. (2012) Informação sobre análise do óleo lubrificante. Comunicação por email. Mercedes-Benz do Brasil Ltda.
- (MMA), Ministério do Meio Ambiente, (1990). Resolução CONAMA n° 251, 12/01/1999, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, Brasil.
- (MMA), Ministério do Meio Ambiente, (2011). Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Relatório Final, Brasília, DF, Brasil.
- Viação Saens Pena (2012). Dados sobre frota utilizada no teste de veículos, consumo, carregamento do veículo e opacidade. Rio de Janeiro, RJ.

DEPOIMENTO DOS PARCEIROS INSTITUCIONAIS

Mercedes-Benz do Brasil Ltda

“A Mercedes-Benz é mundialmente comprometida com o desenvolvimento e a produção de veículos capazes de oferecer maior eficiência energética, menor consumo de combustível e que sejam também mais seguros. Nesse contexto, trabalhamos no desenvolvimento de diversas tecnologias para a mobilidade sustentável, buscando sempre fornecer as soluções mais adequadas para cada mercado.

No Brasil, a Mercedes-Benz dedica-se ao desenvolvimento, aos testes e ao uso efetivo de combustíveis alternativos ao diesel de petróleo em veículos comerciais. Somos a pioneira na utilização do biodiesel e do diesel de cana. Nesse sentido, apoiamos a realização de pesquisas e testes bem fundamentados, como os conduzidos pela Fetranspor com foco na redução das emissões.

Essa medida contribui significativamente para a melhoria da qualidade do ar, que resulta em melhor qualidade de vida e maior preservação do meio ambiente. Outro aspecto importante, dessa solução é a possibilidade de uso imediato na frota circulante, sem necessidade de alterações no motor. Com isso, as características de desempenho, confiabilidade e rentabilidade para o operador são mantidas, e comprova-se o caráter sustentável do projeto, com resultados positivos para o setor de transportes, em termos econômicos, sociais e ambientais.”

Ricardo Silva

Vice-Presidente de Ônibus da Mercedes-Benz do Brasil Ltda.

Michelin Brasil

A Michelin trabalha em prol da mobilidade sustentável

Promover a mobilidade sustentável. Com este objetivo, a Michelin busca continuamente ampliar seu papel de empresa responsável, investindo seus recursos e tecnologias para a melhor mobilidade, comprometida socialmente e ambientalmente, fabricando pneus com tecnologias menos poluentes e mais eficazes.

A participação da MICHELIN com o pneu 275/80 R22.5 X InCity no projeto “Diesel de cana” traduz-se no compromisso da empresa em oferecer produtos e serviços que contribuam para a melhor produtividade com o menor impacto ambiental e o mais alto nível de segurança.

A carcaça Michelin, sinônimo de segurança e confiança, é fabricada para oferecer a melhor durabilidade buscando explorar todo o potencial de quilometragem do pneu. O diferencial do pneu Michelin está, sobretudo, em sua carcaça que pode ser ressulcada e recapada com o máximo de aproveitamento do ciclo de vida do pneu, contribuindo para a proteção do meio ambiente a partir da utilização de menos matéria prima para a fabricação de novos pneus, com segurança.

Após utilização de todo o potencial do pneu na primeira vida, ainda é possível aumentar o rendimento do pneu realizando o serviço de ressulcagem. Neste caso é realizado o redesenho dos sulcos da banda de rodagem dos pneus Michelin, proporcionando um ganho de até 25% de quilometragem na primeira vida. Este serviço permite aumentar a aderência, segurança, ganho no potencial quilométrico e prolongar a vida do pneu novo.

Com a Recapagem Michelin, sistema exclusivo que permite a renovação completa do pneu, temos o aproveitamento total da carcaça proporcionando mais durabilidade com o menor custo por quilômetro. Um pneu recapado, ou seja, que recebe uma nova banda de rodagem por este processo oferece mais quilometragem, com qualidade e garantia da Michelin, valorizando a qualidade da carcaça e permitindo o máximo aproveitamento de todo o potencial da carcaça Michelin.

Ciente de seu papel neste contexto, a Michelin acredita que o equilíbrio das performances na oferta de pneus deve responder aos três fatores: segurança, durabilidade e meio ambiente. O desafio da Michelin é seguir inovando na oferta de produtos e serviços que ofereçam o menor custo por quilômetro rodado, reduzindo o custo operacional das empresas e de maneira sustentável para contribuir para uma melhor mobilidade das pessoas e dos bens.

Michelin Challenge Bibendum

O Michelin Challenge Bibendum é considerado um dos principais eventos do mundo para o avanço da indústria automotiva. Trata-se de um importante fórum de debates para apresentar, discutir e testar as melhores tecnologias ecologicamente corretas no campo da mobilidade sustentável.

Entre suas principais contribuições está o incentivo à pesquisa e desenvolvimento de novas fontes de energia “limpas”, que evitam o desperdício dos combustíveis minerais. A última 10ª edição realizada no Brasil, ofereceu uma oportunidade de continuar o debate sobre os desafios enfrentados pelo setor do transporte urbano e rodoviário no século XXI e de promover a transferência de conhecimento sobre as particularidades do continente sul-americano, sem descuidar do compromisso com a evolução limpa, econômica e segura do transporte rodoviário em nível mundial.

A missão da Michelin é contribuir de maneira sustentável para a mobilidade das pessoas e dos bens. Assim, o Grupo fabrica e comercializa pneus para todo tipo de veículo, incluindo aviões, automóveis, motocicletas, equipamentos de mineração e terraplenagem, ônibus, caminhões e até mesmo para os ônibus espaciais da NASA. A Michelin também presta serviços digitais de ajuda à mobilidade (ViaMichelin.com) e edita guias turísticos, de viagem, de hotelaria e de alimentação, mapas e atlas rodoviários. O Grupo, cuja sede é localizada em Clermont-Ferrand (França), está presente em 170 países, emprega 115 mil pessoas no mundo inteiro e possui 69 unidades industriais implantadas em 18 países. (www.michelin.com)

Monitoramento dos testes do uso de diesel de cana em frota de ônibus urbano no Município do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro, 02 de junho de 2013.

Márcio de Almeida D'Agosto
Coordenador do Projeto e do Programa

Segen Farid Estefen
Diretor Superintendente da Fundação COPPETEC