



2014

Monitoramento dos testes de uso de diesel de cana em frota do BRT Transcarioca no Município do Rio de Janeiro PROJETO BRT + VERDE



Monitoramento dos testes de uso de diesel de cana em frota do BRT Transcarioca no Município do Rio de Janeiro PROJETO BRT + VERDE

**RELATÓRIO FINAL
EMITIDO EM: 19/03/2015**

EQUIPE TÉCNICA:

COORDENAÇÃO:

Prof. Márcio de Almeida D'Agosto

dagosto@pet.coppe.ufrj.br

Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ

PESQUISADORES:

Cintia Machado de Oliveira

cintia.machado@pet.coppe.ufrj.br

Luíza Santana Franca

luizasfranca@poli.ufrj.br

Beatriz Lagnier Gil Ferreira

beatrizlgf@pet.coppe.ufrj.br

Ana Carolina Peixoto Deveza

anadeveza@poli.ufrj.br

Danielle Alves Castelo Branco da Silva

danielle@dme.ufrj.br

Rafael Carvalho de Queiroz

rafael@dme.ufrj.br

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

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	4
1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DE TESTE.....	8
2. IDENTIFICAÇÃO DO REFERENCIAL DE TESTE	10
3. REALIZAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DOS TESTES	11
4. PROCESSAMENTO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO	11
5. RESULTADOS OBTIDOS	12
5.1 RENDIMENTO DO COMBUSTÍVEL	13
5.1.1 CENÁRIO 1 – AMD100 X B5	14
5.1.2 CENÁRIO 2 – AMD100 X B6	17
5.1.3 CENÁRIO 3 – AMD10 X B7	20
5.2 OPACIDADE	24
5.2.1 CENÁRIO 1 – AMD100 X B5	24
5.2.2 CENÁRIO 2 – AMD100 X B6	28
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
AGRADECIMENTOS	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

APRESENTAÇÃO

Este Relatório Final é referente à Proposta COPPETEC PET-18401, intitulada Monitoramento dos testes de uso de diesel de cana de açúcar – aqui denominado diesel de cana - em frota do BRT Transcarioca do 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 das empresas Viação Redentor Ltda., Transportes Futuro Ltda., Transportes Barra Ltda., Amyris Brasil Ltda., Sindicato Rio Ônibus, Raízen Combustíveis S/A. e Ipiranga Produtos de Petróleo S/A.

Com a finalidade de subsidiar a escolha 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 analisa o desempenho comparativo de uma frota de ônibus articulados do BRT Transcarioca do Município do Rio de Janeiro, que utiliza como combustível o diesel de cana, produzido pela empresa Amyris Brasil Ltda., em relação a uma frota de ônibus articulados operando em condições similares que utiliza diesel comum¹. Foram considerados três cenários de comparação: (1) no mês de junho, os veículos que rodaram com AMD100 (100% de diesel de cana) foram comparados com os veículos que utilizaram B5 (95% de diesel de petróleo com 5% de biodiesel); (2) em julho e agosto, os veículos que rodaram com AMD100 foram comparados com os que utilizaram B6 (94% de diesel de petróleo com 6% de biodiesel) e (3) em novembro, dezembro e janeiro, os veículos que rodaram com AMD10 (mistura de 10% de diesel de cana com 90% de B7) foram comparados com os que utilizaram B7 (93% de diesel de petróleo com 7% de biodiesel).

Os veículos testados atuaram no corredor do BRT Transcarioca. Tal corredor conecta o bairro da Barra da Tijuca ao Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão – Antônio Carlos Jobim e oferece os serviços: expresso, semidireto e parador. Foi possível somente fixar os veículos abastecidos com diesel de cana (AMD100 ou AMD10) no serviço semidireto, enquanto que os veículos abastecidos com diesel comum (B5, B6 ou B7) não tiveram o tipo de serviço fixado.

A partir da análise dos resultados dos testes realizados, descritos no ANEXO I deste relatório, verificou-se que os veículos abastecidos com diesel de cana (AMD100) apresentaram rendimento (km/l) 3,79% inferior aos veículos abastecidos com B5 e 1,56% superior aos veículos abastecidos com B6. Os veículos abastecidos com mistura de 90% de

¹Em 1º de julho de 2014 entrou em vigor a alteração na adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel de 5% para 6%, estabelecida pela Medida Provisória nº 647, de 28 de maio de 2014. Já a partir de 1º de novembro de 2014, a Lei de Conversão 14/2014 torna definitivo a adoção do B7(7% de biodiesel misturado ao óleo diesel), sendo publicado no Diário Oficial da União como a Lei 13.033.

B7 e 10% de diesel de cana (AMD10) apresentaram rendimento 1,84% superior aos veículos abastecidos com B7. Verificou-se que a média do rendimento para o AMD100 foi de 1,59 km/l para o cenário 1 e 1,76 km/l para o cenário 2. Para o AMD10, a média apresentou valor de 1,36 km/l para o cenário 3. Estes resultados apresentaram intervalo de confiança de [1,570180; 1,612124], [1,731716; 1,781270] e [1,340386; 1,378152], respectivamente. De forma análoga, verificou-se que os veículos abastecidos com diesel comum apresentaram médias de rendimento de 1,65 km/l para o cenário 1 (B5), 1,73 km/l para o cenário 2 (B6) e 1,33 km/l para o cenário 3 (B7), com intervalos de confiança de [1,613491; 1,689356], [1,710487; 1,747400] e [1,317831; 1,350299], respectivamente. Com confiança estatística de 95%, estes resultados se mostraram estatisticamente diferentes (média e variância) para o cenário 1 e estatisticamente iguais para a média e diferentes para a variância nos cenários 2 e 3.

Em relação à leitura de opacidade, só foi possível obter resultados para os cenários de comparação 1 e 2, devido aos dados fornecidos. Tanto os veículos abastecidos com diesel de cana (AMD100) quanto os veículos abastecidos com diesel comum (B5 e B6) apresentaram todos os resultados menores do que o limite regulamentado de $1,7 \text{ m}^{-1}$, sendo que os veículos abastecidos com diesel de cana apresentaram, 28,1% de opacidade maior que os abastecidos com diesel comum no cenário 1 e 14,2% menor, no cenário 2. Verificou-se que a média da opacidade para o diesel de cana no cenário 1 foi de $0,0535 \text{ m}^{-1}$ com o intervalo de confiança [0,0446; 0,0625] a um nível de 5% de significância. O diesel comum apresentou média de $0,0385 \text{ m}^{-1}$ e intervalo de confiança de [0,032; 0,045] para o B5, com nível de significância de 5%, no cenário 1. No cenário 2 a média da opacidade para o diesel de cana (AMD100) foi de $0,0425 \text{ m}^{-1}$ e intervalo de confiança de [0,035; 0,050] e média de $0,0485 \text{ m}^{-1}$ e intervalo de confiança de [0,042; 0,055] para o B6, com nível de significância de 5%. Com confiança estatística de 95%, estes resultados se mostraram estatisticamente diferentes (média e variância) para o cenário 1 e estatisticamente iguais (média e variância) para o cenário 2.

Considerando a evolução do perfil da operação do BRT Transcarioca em função do tempo, a partir da sua inauguração em junho de 2014, entende-se que no primeiro mês de operação (junho) o sistema se encontrava em regime transiente quanto ao número diário de viagens realizadas e número de passageiros transportados por veículo e por viagem, passando a regime permanente, com maior regularidade da operação quanto a estas medidas de desempenho a partir de julho de 2014. Assim sendo, há indícios de que os resultados obtidos nos cenários 2 e 3 tenham sofrido menos impactos das variações de carregamento e número de viagens realizadas que no cenário 1, representando melhor as diferenças relativas pelo uso dos combustíveis.

Face ao que foi apresentado, entende-se que menos incerteza em considerar:

-
1. Com confiança estatística de 95%, as médias dos rendimentos dos combustíveis em km/l do AMD100 e do AMD10 são estatisticamente iguais as médias do B6 e do B7, respectivamente;
 2. Com confiança estatística de 95%, as variâncias dos rendimentos dos combustíveis em km/l do AMD100 e do AMD10 são estatisticamente diferentes das variâncias do B6 e do B7, respectivamente;
 3. Com confiança estatística de 95%, estes resultados da medição de opacidade se mostraram estatisticamente iguais (média e variância) para a comparação entre o uso de AMD100 e B8.

Não foi possível analisar as características químicas dos combustíveis testados (AMD100, AMD10, B5, B6 e B7) uma vez que não foram recebidos os resultados dos testes destes combustíveis.

Não foi possível analisar o estado do óleo lubrificante dos motores dos veículos testados uma vez que não foram recebidos os resultados dos testes de óleo lubrificante.

Não foi reportada, pelas empresas operadoras dos veículos em teste, qualquer anormalidade relacionada ao estado de manutenção dos veículos que pudesse ser relacionado ao uso de AMD100 ou AMD10.

Não foi reportada, pelas empresas operadoras dos veículos em teste, qualquer anormalidade relacionada a estocagem e abastecimento dos veículos com AMD100 ou AMD10.

INTRODUÇÃO

No Brasil, no ano de 2012, aproximadamente 87% das viagens realizadas por modos coletivos de transporte de passageiros utilizaram o modo rodoviário, por meio de ônibus movidos a óleo diesel de petróleo (ANTP, 2014).

O sistema BRT (*Bus Rapid Transit*) tem sido implantado em diversas cidades brasileiras visando aumentar a oferta de transporte público. Este sistema dispõe de corredores em vias segregadas, estações fechadas com pagamento antecipado e ônibus de maior capacidade estática que os veículos convencionais (ônibus articulados ou biarticulados) com múltiplas portas, características cuja combinação implica em um aumento da velocidade média de percurso e, conseqüentemente, redução do tempo de deslocamento.

Por se tratar de um modo rodoviário, utiliza combustíveis derivados do petróleo, no caso específico desse projeto, o óleo diesel, o que promove o aumento da dependência do país em relação a esse tipo de combustível e contribui com o aumento da concentração de gases de efeito estufa e da poluição atmosférica das cidades. Com o intuito de minimizar os impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis e ao mesmo tempo ampliar a segurança energética do país, avançam-se as buscas por novas alternativas energéticas.

Nesse contexto, destacam-se, no Brasil, os biocombustíveis, como o 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.

O biodiesel, no Brasil, já possui tecnologia consolidada para sua produção e vantagens e desvantagens conhecidas em seu uso final. 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 considerado todo o seu ciclo de vida. Entretanto, por depender do uso de tecnologia em desenvolvimento para sua produção, ainda não se conhece a real viabilidade da sua adoção.

Até o final de junho de 2014 a frota de ônibus do BRT Transcarioca foi abastecida com diesel comum B5, uma mistura de 95% de óleo diesel de petróleo e 5% de biodiesel (B5), com 10 ppm de enxofre (S10). Entretanto, a partir de 1º de julho de 2014, entrou em vigor a determinação da Medida Provisória nº 647/2014 (convertida, posteriormente na lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014) de elevação do percentual de adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel, elevando para 6% (B6), além de determinar que um aumento para 7% (B7), a partir de 1º de novembro de 2014. Sendo assim, a partir dessa data, utilizou-se o diesel B7, uma mistura de 93% de óleo diesel de petróleo e 7% de biodiesel (B7), com 10 ppm de enxofre (S10).

Desta forma, esse trabalho analisa o desempenho comparativo em três cenários, entre ônibus articulados do BRT Transcarioca que utilizam como combustível o diesel de cana, e uma frota operando em condições similares que utiliza diesel comum: (1) ao longo de 16

dias do mês de junho, os veículos que rodaram com AMD100 (100% de diesel de cana) foram comparados com os veículos que utilizaram B5; (2) em 48 dias dos meses de julho e agosto, os veículos que rodaram com AMD100 foram comparados com aqueles que utilizaram B6 de forma agregada e (3) em 61 dias de novembro e dezembro de 2014 e 31 dias de janeiro de 2015, os veículos que rodaram com AMD10 (mistura de 10% de diesel de cana com 90% de B7) foram comparados com os que utilizaram B7, também de forma agregada.

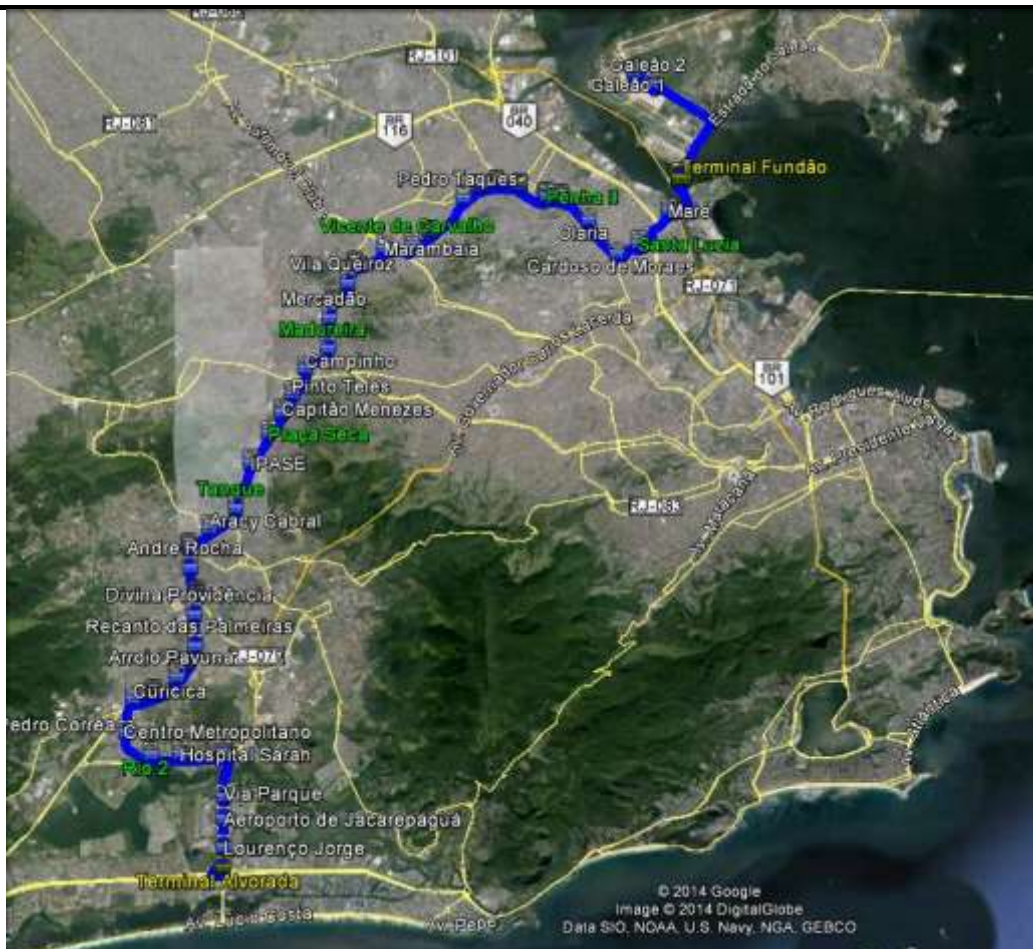
Os veículos testados atuaram no corredor do BRT Transcarioca, corredor que possui 39 km de extensão e que conecta o bairro da Barra da Tijuca ao Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão – Antônio Carlos Jobim (referido a partir daqui como Aeroporto do Galeão), que oferece os serviços: expresso, semidireto e parador. Foi possível somente fixar os veículos abastecidos com diesel de cana no serviço semidireto, enquanto que os veículos abastecidos com diesel comum não tiveram o tipo de serviço fixado.

Sempre que se dispôs dos dados, este trabalho apresenta a análise de duas medidas de desempenho: rendimento (km/l), e opacidade (m^{-1}) dos gases de escapamento dos motores. Os resultados obtidos durante os oito meses de teste encontram-se neste relatório e foram tratados estatisticamente conforme descrito no ANEXO I. A comparação dessas medidas de desempenho para os veículos abastecidos com B5, B6 e B7, além da comparação entre os veículos que utilizaram AMD100 e AMD10 encontram-se no ANEXO II.

A partir desta introdução, este relatório divide-se em 6 seções e 2 anexos. A Seção 1 apresenta a identificação do objeto de teste. Na seção 2 encontra-se a identificação do referencial de teste. Os detalhes sobre a realização e acompanhamento do teste encontram-se descritos na seção 3. Na seção 4 apresenta-se a metodologia de processamento das medidas de desempenho considerada no estudo. Por fim, a seção 5 apresenta os resultados finais obtidos no projeto, enquanto as considerações finais são apresentadas na seção 6.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DE TESTE

O corredor de BRT Transcarioca, onde os veículos monitorados circulam, possui de 39 km de extensão, ligando o bairro da Barra da Tijuca ao Aeroporto do Galeão. O corredor, ilustrado na Figura 1, possui 47 estações e 5 terminais, interligando 27 bairros: Barra da Tijuca, Jacarepaguá, Curicica, Cidade de Deus, Taquara, Tanque, Praça Seca, Campinho, Madureira, Cascadura, Engenheiro Leal, Turiaçu, Vaz Lobo, Vicente de Carvalho, Irajá, Vila da Penha, Vila Kosmos, Brás de Pina, Penha Circular, Penha, Olaria, Ramos, Bonsucesso, Complexo do Alemão, Maré, Fundão e Galeão.



Fonte: FETRANSPO (2014).

Figura 1: Corredor do BRT Transcarioca.

Os veículos considerados no estudo e que utilizam AMD100 ou AMD10 realizam um serviço semidireto entre o Terminal Alvorada, na Barra da Tijuca, e as estações localizadas no Aeroporto do Galeão (estações Galeão - Tom Jobim 1 e 2), com uma parada intermediária na estação Vicente de Carvalho.

A frota de ônibus do BRT Transcarioca considerada para a realização deste teste é composta de 17 ônibus articulados com chassi B340 (Volvo) (motor central, transmissão automática, suspensão pneumática com controle eletrônico) e carroceria de marca/modelo Neobus/Mega BRT com 5 portas, sendo 1 com acesso exclusivo para o motorista, e 60 assentos. Estes veículos devem atender aos limites de emissão estabelecidos pelo PROCONVE 7 (P7). Na Tabela 1 são listados os veículos monitorados.

Tabela 1: Frota de veículos considerada no estudo.

Nº de ordem	Nº da placa	Chassis				Carroceria			Tipo de diesel
		Marca	Tipo	Número	Ano	Marca	Modelo	Ano	
13402	LTL5480	VOLVO	B340	9BVR9R323EE383905	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2014	AMD100/AMD10/B6
13404	KQO7823	VOLVO	B340	9BVR9R329EE384055	2014	NEOBUS	MEGA BRT	2014	AMD100/AMD10
13405	LTD5409	VOLVO	B340	9BVR9R320EE384056	2014	NEOBUS	MEGA BRT	2014	AMD100/AMD10
30526	LRG3042	VOLVO	B340	9BVR9R32XEE383965	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2014	AMD100/AMD10/B6
30527	KPY6689	VOLVO	B340	9BVR9R325EE383968	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2014	AMD100/AMD10
47004	KQK-7904	VOLVO	B340	9BVR9R321EE383871	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2014	B7
47005	LSV-5862	VOLVO	B340	9BVR9R32XEE383643	2014	NEOBUS	MEGA BRT	2014	B7
47007	LSP6018	VOLVO	B340	9BVR9R32XEE384016	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2014	AMD100/AMD10
47008	KPY9735	VOLVO	B340	9BVR9R324EE383914	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2014	AMD100/AMD10/B6
13401	KQO7822	VOLVO	B340	9BVR9R325EE383906	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2013	B5/B6/B7
13403	LTF5447	VOLVO	B340	9BVR9R327EE383907	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2013	B5/B6/B7
13406	LRG6479	VOLVO	B340	9BVR9R320EE383862	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2013	B5/B6/B7
13407	KPY9732	VOLVO	B340	9BVR9R322EE383863	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2013	B5/B6/B7
13408	KWI9730	VOLVO	B340	9BVR9R32XEE383769	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2014	B5/B6/B7
13409	KPY9733	VOLVO	B340	9BVR9R321EE383644	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2013	B5/B6/B7
13412	KPY9734	VOLVO	B340	9BVR9R323EE383645	2013	NEOBUS	MEGA BRT	2013	B5/B6/B7
13420	KWI-9708	VOLVO	B340	9BVR9R320EE383800	2014	NEOBUS	MEGA BRT	2014	AMD10

Nota: Os veículos com número de ordem 13402, 30526 e 47008 foram abastecidos com AMD100 no mês de junho e nos meses seguintes passaram a ser abastecidos com B6. O veículo de ordem 13405 não rodou no mês de novembro e os de ordem 47004 e 47005 só rodaram em novembro e dezembro. Por fim, o veículo de ordem 13420 apenas rodou no mês de dezembro.

O teste foi realizado no mês de junho com 7 veículos abastecidos com AMD100 e 7 veículos utilizando B5. No mês de julho e nos 18 primeiros dias do mês de agosto, foram testados 4 veículos com AMD100 e 10 veículos com B6 (realocando 3 que anteriormente circulavam com AMD100). No mês de novembro, 6 veículos foram testados com AMD10 e 9 veículos com B7, em dezembro, 8 veículos rodaram com AMD10 e 9 veículos com B7 e em janeiro de 2015, 7 veículos rodaram com AMD10 e 9 veículos com B7. Os veículos abastecidos com B5, B6 e B7 foram considerados como frota de referência ou frota “sombra”.

2. IDENTIFICAÇÃO DO REFERENCIAL DE TESTE

Para a comparação dos veículos abastecidos com diesel comum e diesel de cana o presente estudo considerou as seguintes medidas de desempenho:

- Rendimento do combustível [km/l];
- Opacidade dos gases de escape dos motores [m^{-1}].

O rendimento do combustível, em km/l, foi obtido com base na relação entre a quilometragem que cada veículo rodou entre os abastecimentos e o volume abastecido em cada veículo.

Para a medição da opacidade dos gases de escapamento dos motores, no mês de junho foram feitas duas medições em 7 veículos, no mês de julho apenas uma medição em 3 veículos e em agosto, uma medição em 6 veículos. Esta medição foi realizada conforme norma NBR 13037 da ABNT. Como limite máximo de opacidade considerou-se $1,7 \text{ m}^{-1}$, conforme Resolução CONAMA 251/99. Não foram realizadas medições nos meses de novembro, dezembro e janeiro.

3. REALIZAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DOS TESTES

Os veículos foram operados e monitorados pelas empresas: Viação Redentor Ltda., Transportes Futuro Ltda., Transportes Barra Ltda.. Essas foram responsáveis pela medição e coleta dos dados – volume abastecido de combustível e distância percorrida entre abastecimentos – e por fornecer esses dados à FETRANSPOR.

A medição da opacidade dos gases de escapamento dos motores foi realizada mensalmente pela FETRANSPOR. O tratamento e análise dos dados foram realizados pela equipe do Laboratório de Transporte de Carga (LTC) do Programa de Engenharia de Transportes (PET) da COPPE/UFRJ.

4. PROCESSAMENTO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO

No que se refere às variáveis rendimento do combustível e opacidade, adotou-se o procedimento com metodologia estatística, sumariamente apresentado na Figura 2. A metodologia foi empregada separadamente tanto para o diesel comum (B5, B6 e B7) quanto para o diesel de cana (AMD100 e AMD10).



Figura 2: Diagrama com síntese do procedimento e metodologia estatística de avaliação das medidas de rendimento do combustível e opacidade dos gases de escapamento dos motores.

Para cada uma das medidas selecionadas, os dados levantados em campo (geração e coleta) foram tabulados em uma planilha *Microsoft Excel*. Foi feito um tratamento de consistência dos dados, onde se verificou erros e foram feitos ajustes relacionados à sequência de preenchimento dos dados. Após esse tratamento, os dados foram encaminhados para o tratamento pela metodologia estatística.

A metodologia estatística, aplicada conforme ANEXO I, permite a obtenção dos resultados das médias e intervalos de confiança das variáveis analisadas (rendimento e opacidade) para cada combustível e a comparação entre eles. Primeiramente, foi observado qual tipo de distribuição os dados observados apresentam ao longo de todo o período e as suas médias amostrais. Com a definição do tipo de distribuição da média, foi possível calcular as variâncias das médias de cada variável e, com isso, encontrar as variâncias, os desvios padrão e os intervalos de confiança. É a partir das variâncias e das médias é possível comparar, pelo teste de hipóteses, se as variáveis rendimento e opacidade do combustível diesel de cana (AMD100 ou AMD10) são estatisticamente iguais às variáveis do combustível diesel comum (B5, B6 e B7), considerando um determinado nível de significância.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Os dados recebidos foram tratados conforme descrito na Seção 4 e serão apresentados separadamente para as medidas de desempenho de rendimento do combustível e opacidade.

Os veículos abastecidos com diesel comum e com diesel de cana apresentaram os resultados indicados na Tabela 2, considerando os três cenários de comparação.

Tabela 2: Resultados finais da quilometragem e volume de combustível para diesel comum e diesel de cana.

		Diesel de cana	Diesel comum
Cenário 1: AMD100 X B5	Quilometragem (km)	71.440,1	38.451,7
	Volume de combustível consumido (l)	45.085,7	23.340,69
Cenário 2: AMD100 X B6	Quilometragem (km)	74.878,8	173.191,8
	Volume de combustível consumido (l)	42.598,82	102.026,3
Cenário 3: AMD10 X B7	Quilometragem (km)	205.697,8	254.385,8
	Volume de combustível consumido (l)	152.062,0	190.315,7
Total	Quilometragem (km)	352.016,7	466.029,3
	Volume de combustível consumido (l)	239.746,5	315.682,7

Esses resultados finais de volume de combustível total consumido e da quilometragem total, por mês, são ilustrados nas Figuras 3 e 4 para o diesel de cana e o diesel comum, respectivamente.

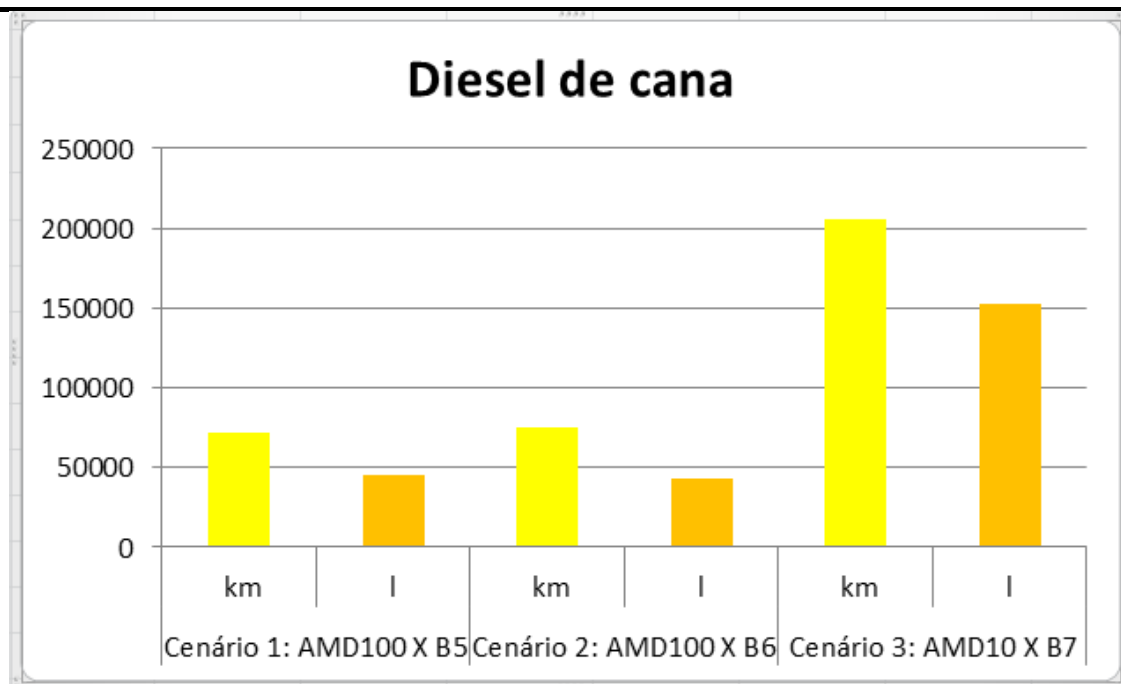


Figura 3: Volume de combustível consumido e quilometragens totais pelos veículos abastecidos com diesel de cana (AMD100 e AMD10), por cenário.

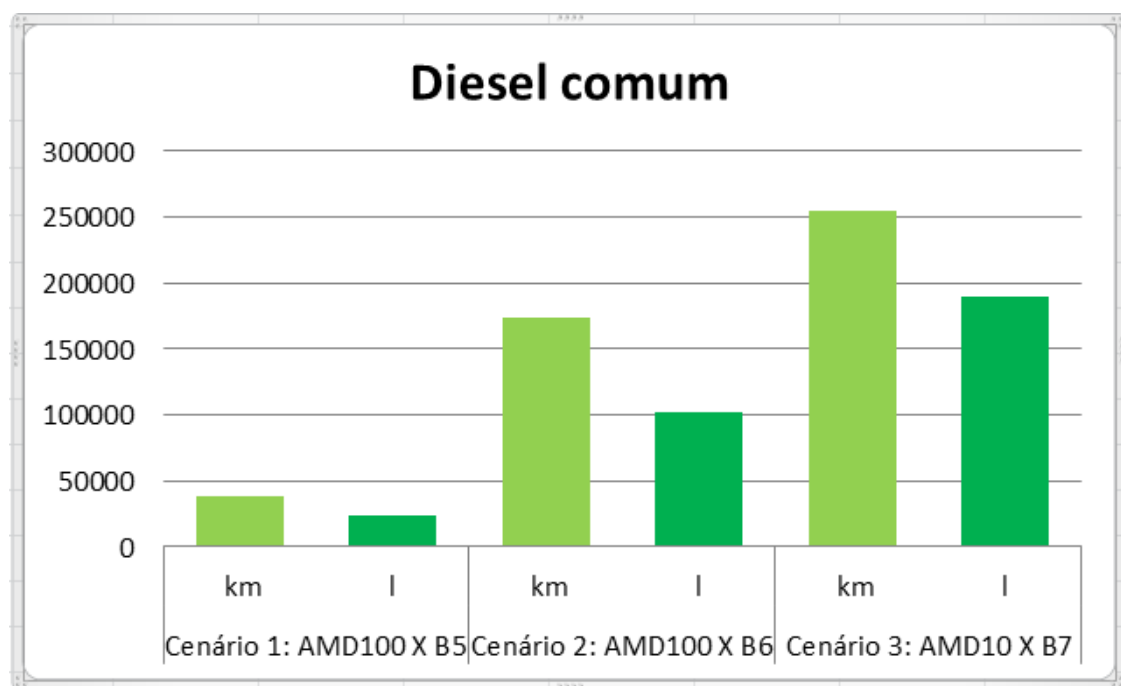


Figura 4: Volume de combustível consumido e quilometragens totais pelos veículos abastecidos com diesel comum (B5, B6 e B7), por cenário.

5.1 RENDIMENTO DO COMBUSTÍVEL

Como parte da metodologia estatística empregada (ANEXO I) foi feito o histograma para os resultados do rendimento do combustível para o diesel de cana e para o diesel comum, para cada cenário de comparação, a fim de observar o tipo de distribuição dos dados coletados e das médias amostrais.

5.1.1 CENÁRIO 1 – AMD100 X B5

A partir dos histogramas apresentados nas Figuras 5 e 6 é possível observar que os dados coletados das medidas de rendimento do combustível apresentam distribuição Normal para o AMD100 e Gamma, para o B5.

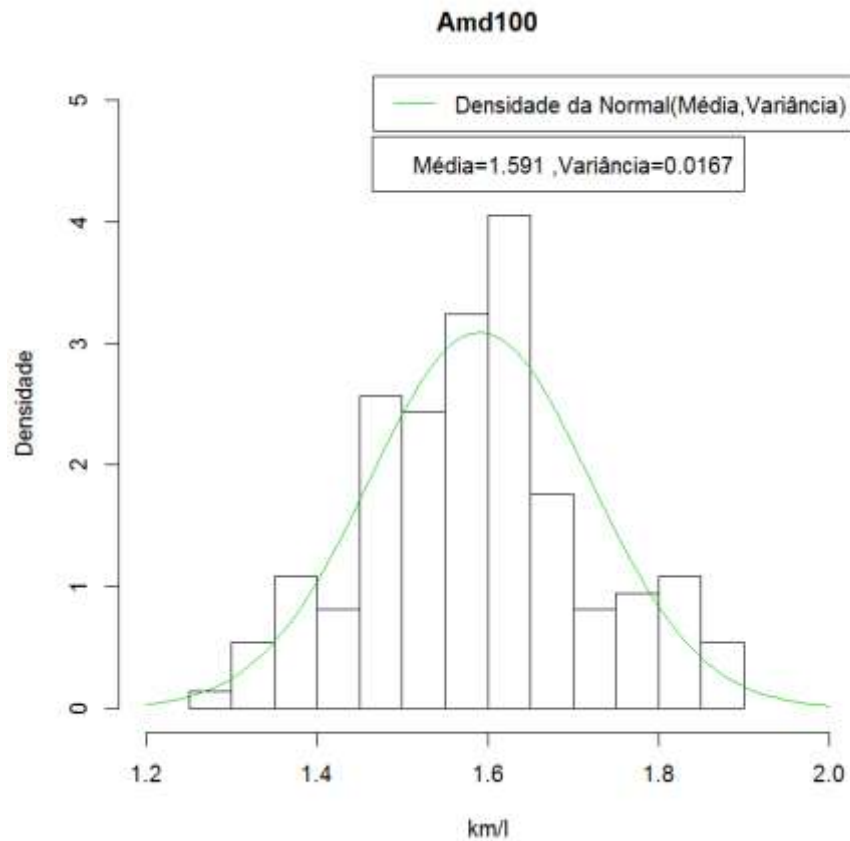


Figura 5: Histograma dos dados coletados de rendimento do AMD100.

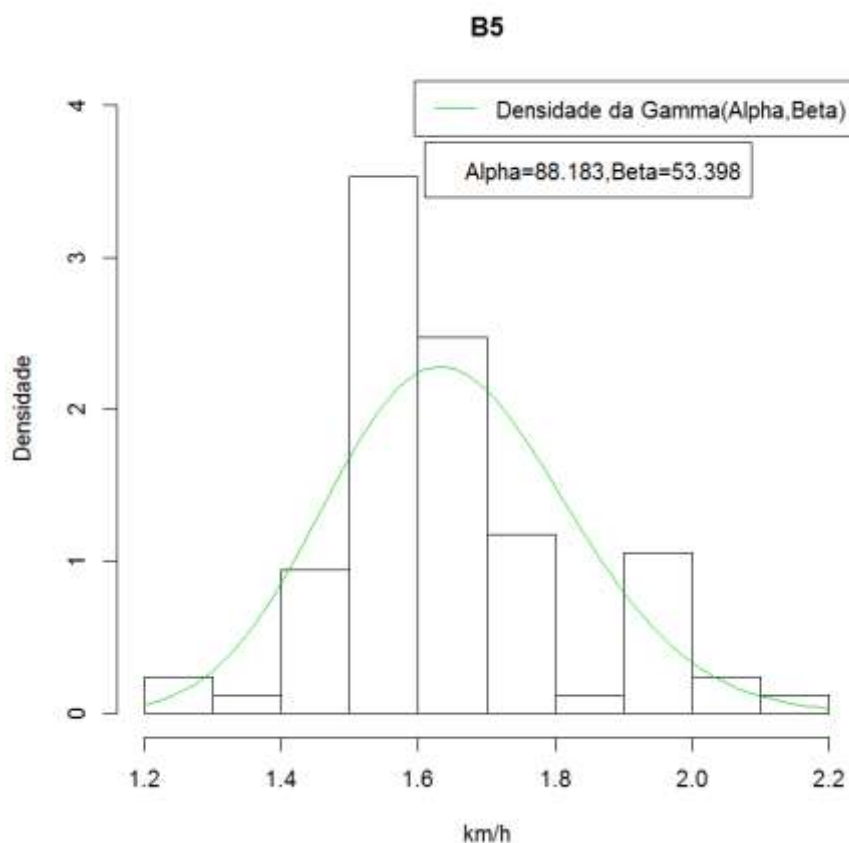


Figura 6: Histograma dos dados coletados de rendimento do B5.

A partir dos dados coletados e tratados por meio da metodologia apresentada no ANEXO I deste relatório, a Figura 7 apresenta os intervalos de confiança para os rendimentos dos combustíveis AMD100 e B5. As médias dos resultados obtidos são 1,59 km/l com intervalo de confiança de [1,570180; 1,612124] para o AMD100 e 1,65 km/l com intervalo de confiança [1,613491; 1,689356] para o B5, com nível de significância de 5%. Desta forma, o rendimento do AMD100 apresenta variâncias e médias estatisticamente diferentes do B5 e as faixas de variação dos intervalos não se interceptam. Portanto, o rendimento médio do combustível AMD100 é 3,79% menor que o rendimento médio do B5.

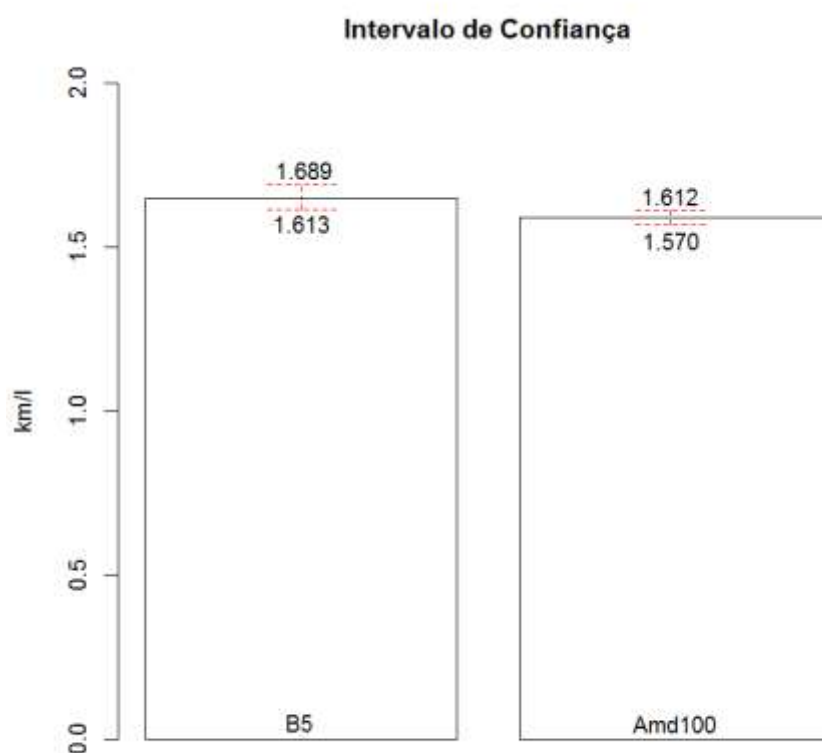


Figura 7: Intervalos de confiança do rendimento dos combustíveis AMD100 e B5.

Também pode ser observado o comportamento da distribuição dos valores do rendimento dos combustíveis AMD100 e B5. A Figura 8 apresenta comparativamente as curvas de densidade das distribuições, bem como as médias da medida rendimento do combustível. Observa-se que ambas as curvas de distribuição apresentam um comportamento de dispersão semelhante, apesar de serem considerados estatisticamente diferentes.

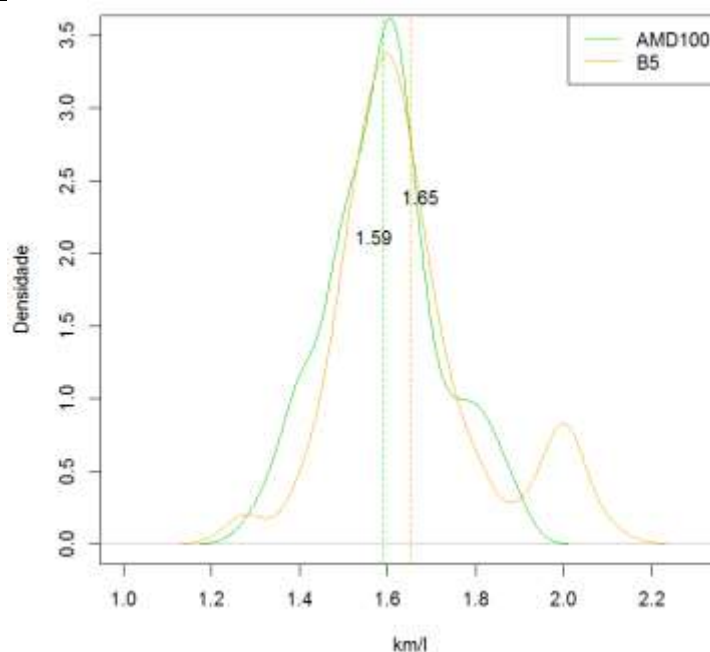


Figura 8: Linha de densidade e média das medidas rendimento dos combustíveis AMD100 e B5.

5.1.2 CENÁRIO 2 – AMD100 X B6

Os histogramas apresentados nas Figuras 9 e 10 sugerem que os dados coletados das medidas de rendimento apresentam distribuição Normal para o AMD100 e Gamma, para o B6.

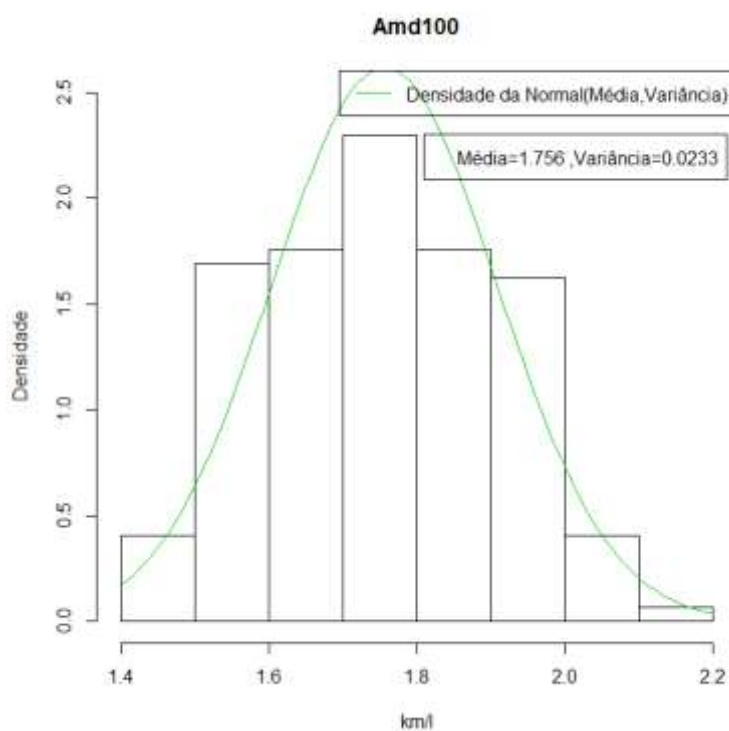


Figura 9: Histograma dos dados coletados de rendimento do AMD100.

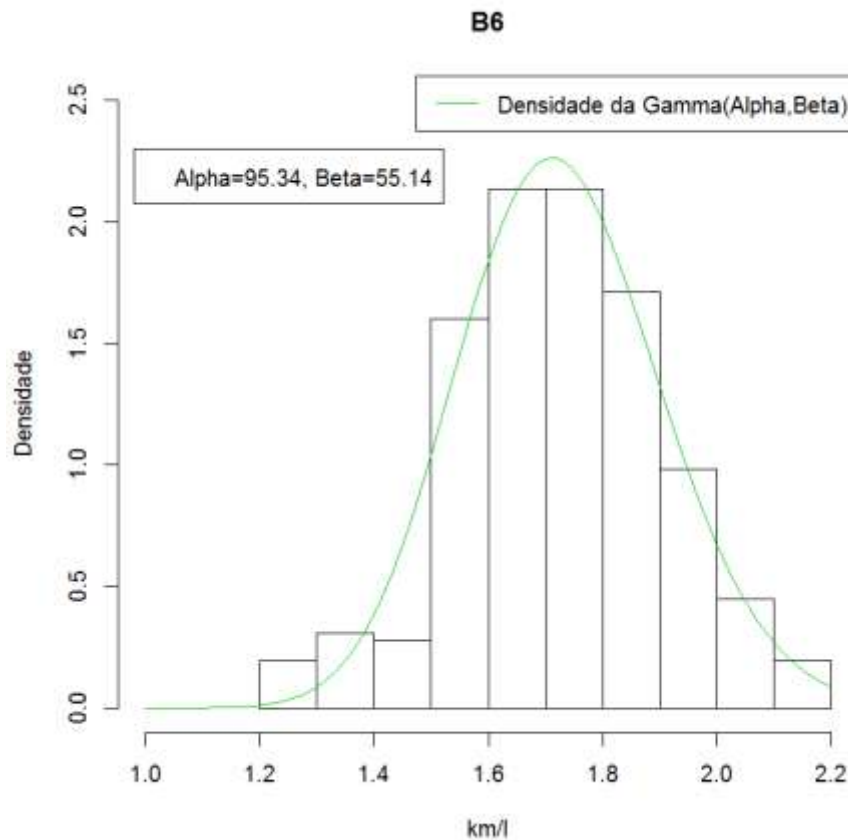


Figura 10: Histograma dos dados coletados de rendimento do B6.

A partir dos dados coletados e tratados por meio da metodologia apresentada no ANEXO I deste relatório, são apresentados os intervalos de confiança para os rendimentos dos combustíveis AMD100 e B6 (Figura 11). As médias dos resultados obtidos são 1,76 km/l e intervalo de confiança de [1,731716; 1,781270] para o AMD100 e 1,73 km/l e intervalo de confiança [1,710487; 1,747400] para o B6, com nível de significância de 5%. Desta forma, o rendimento do AMD100 apresenta variâncias estatisticamente diferentes e médias estatisticamente iguais ao B6. Embora a média do rendimento do combustível AMD100 seja 1,56% maior que a do B6, não há garantia de que a média do B6 seja diferente estatisticamente da média do AMD100.

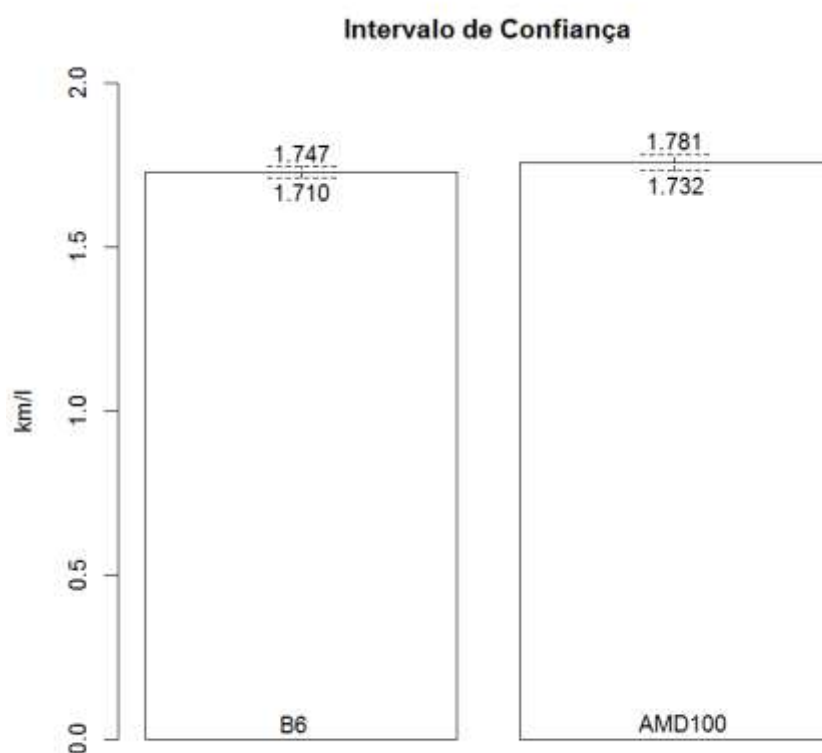


Figura 11: Intervalos de confiança do rendimento dos combustíveis AMD100 e B6.

Também pode ser observado o comportamento da distribuição dos valores do rendimento dos combustíveis AMD100 e B6. A Figura 12 apresenta comparativamente as curvas de densidade das distribuições, bem como as médias de rendimento dos combustíveis. Observa-se que ambas as curvas de distribuição apresentam um comportamento de dispersão semelhante.

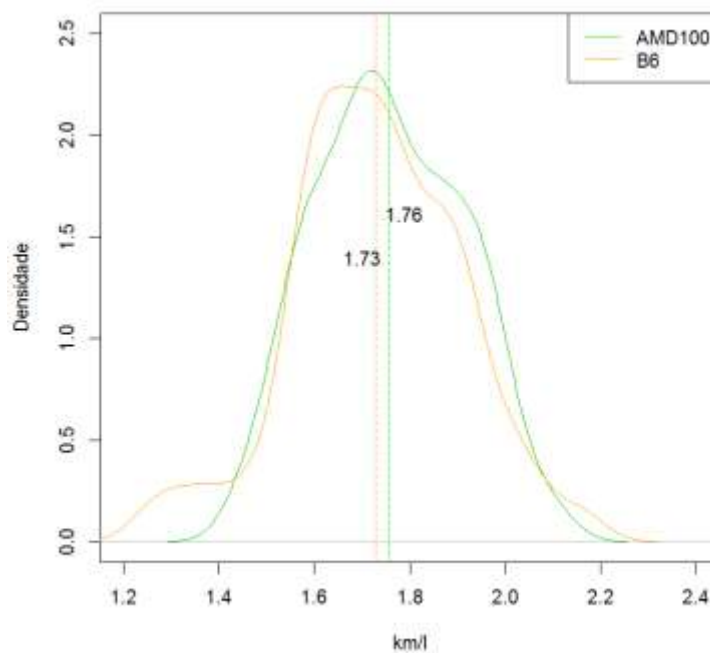


Figura 12: Linha de densidade e média das medidas rendimento dos combustíveis AMD100 e B6.

5.1.3 CENÁRIO 3 – AMD10 X B7

A partir dos histogramas apresentados nas Figuras 13 e 14 é possível observar que os dados coletados das medidas de rendimento dos combustíveis sugerem uma distribuição Gamma tanto para o AMD10 quanto para o B7.

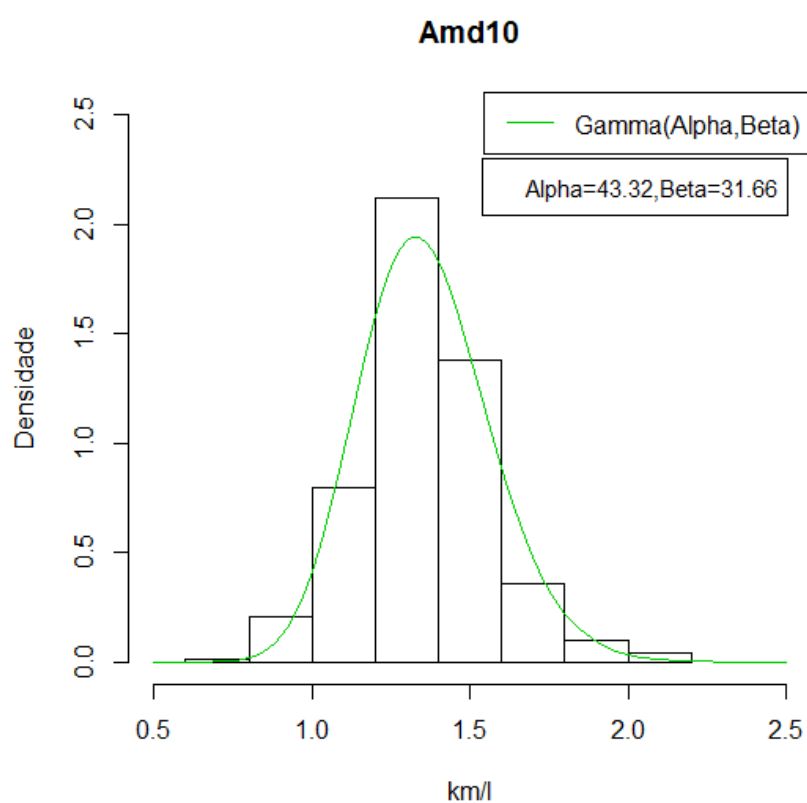


Figura 13: Histograma dos dados coletados de rendimento do AMD10.

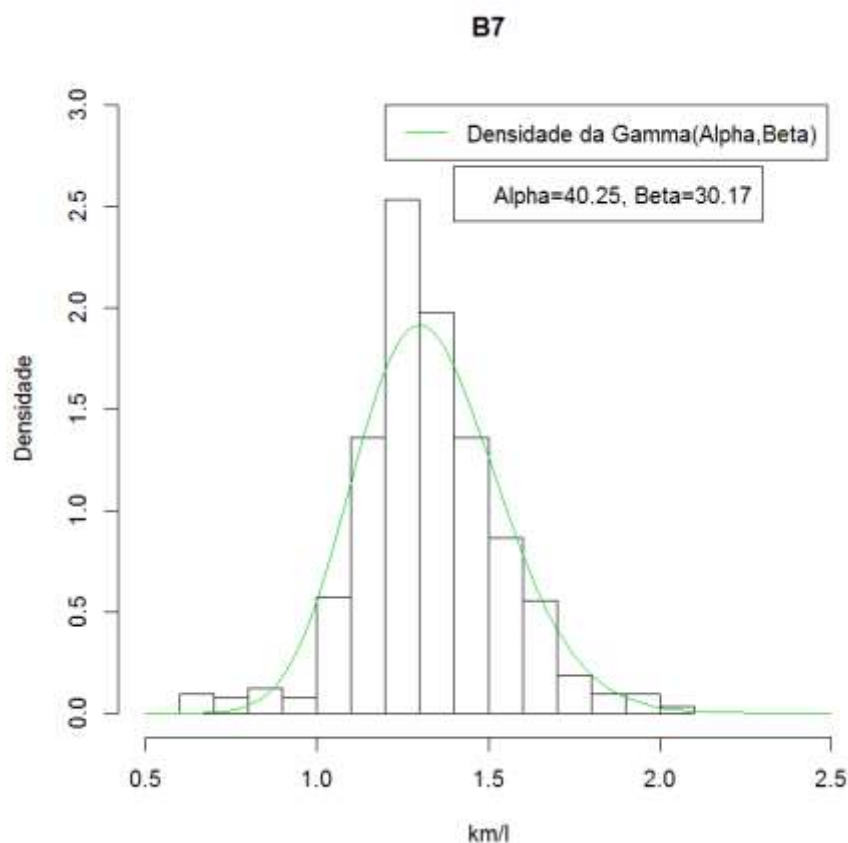


Figura 14: Histograma dos dados coletados de rendimento do B7.

A partir dos dados coletados e tratados por meio da metodologia apresentada no ANEXO I, são apresentados os intervalos de confiança para os rendimentos dos combustíveis AMD10 e B7 (Figura 15). As médias dos resultados obtidos são 1,36 km/l e intervalo de confiança de [1,340386; 1,378152] para o AMD10 e 1,33 km/l e intervalo de confiança [1,317831; 1,350299] para o B7, com nível de significância de 5%. Desta forma, o rendimento do AMD10 apresenta variâncias estatisticamente diferentes e médias estatisticamente iguais as do B7. Embora a média do rendimento do combustível AMD10 seja 1,84% superior ao B7, não há garantia de que a média do B7 seja diferente estatisticamente da média do AMD10.

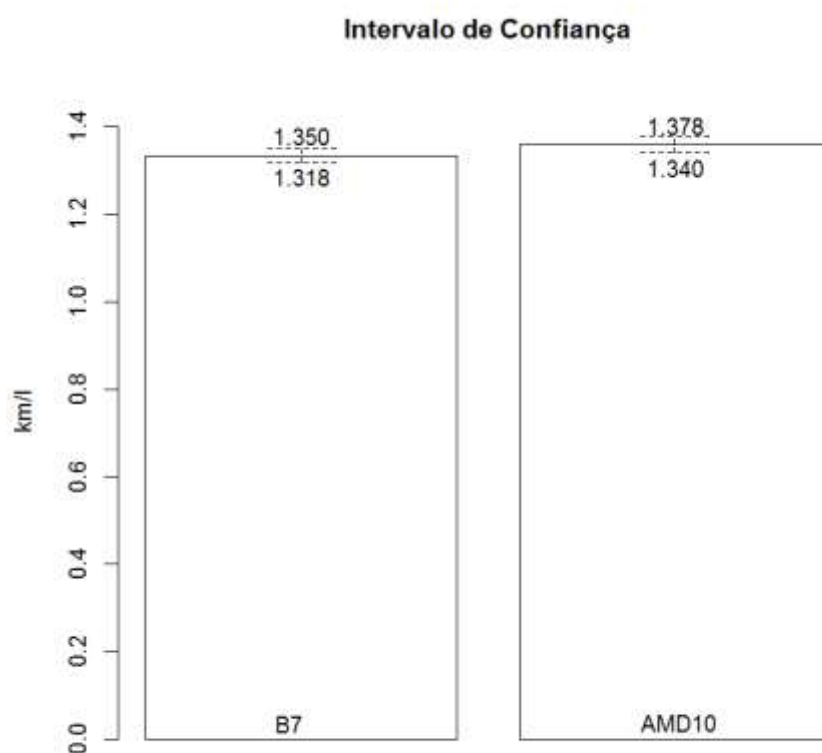


Figura 15: Intervalos de confiança do rendimento dos combustíveis AMD10 e B7.

Também pode ser observado o comportamento da distribuição dos valores do rendimento dos combustíveis AMD10 e B7. A Figura 16 apresenta comparativamente as curvas de densidade das distribuições, bem como as médias de rendimento dos combustíveis. Observa-se que ambas as curvas de distribuição apresentam um comportamento de dispersão semelhante.

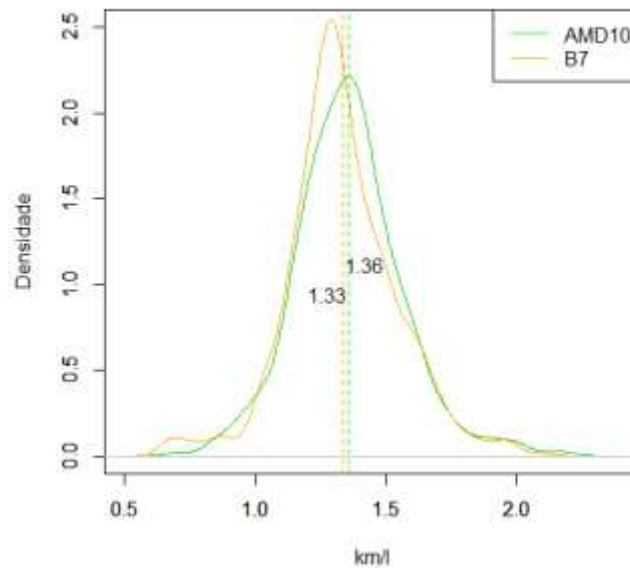


Figura 16: Linha de densidade e média das medidas rendimento dos combustíveis AMD10 e B7.

5.2 OPACIDADE

A análise dos resultados para a medida de opacidade foram obtidos utilizando a mesma metodologia estatística utilizada para a obtenção dos resultados da variável rendimento e também serão separados conforme os cenários de comparação 1 e 2. Não serão apresentados os resultados para o cenário 3 devido à falta de dados.

5.2.1 CENÁRIO 1 – AMD100 X B5

O histograma dos valores encontrados tanto para AMD100 e para B5 é apresentado nas Figuras 17 e 18. A partir teste de *Kolmogorov-Smirnov* apresentado no ANEXO I, observa-se que os dados coletados das medidas de opacidade apresentam distribuição Gamma para o AMD100 e o B5.

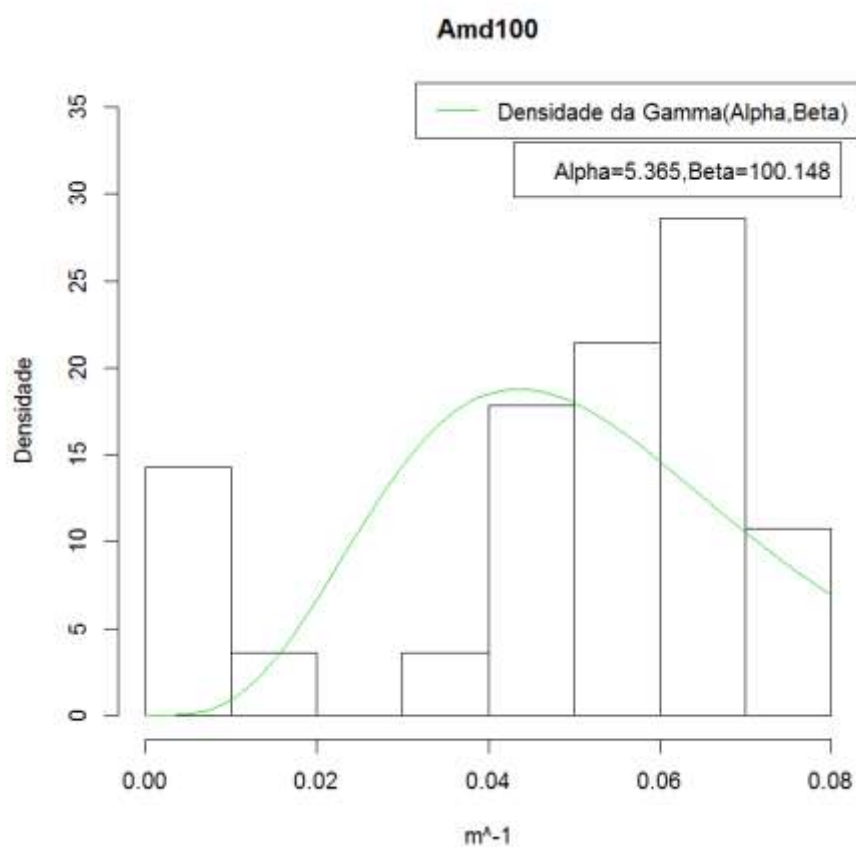


Figura 17: Histograma dos dados coletados de opacidade para o uso de AMD100.

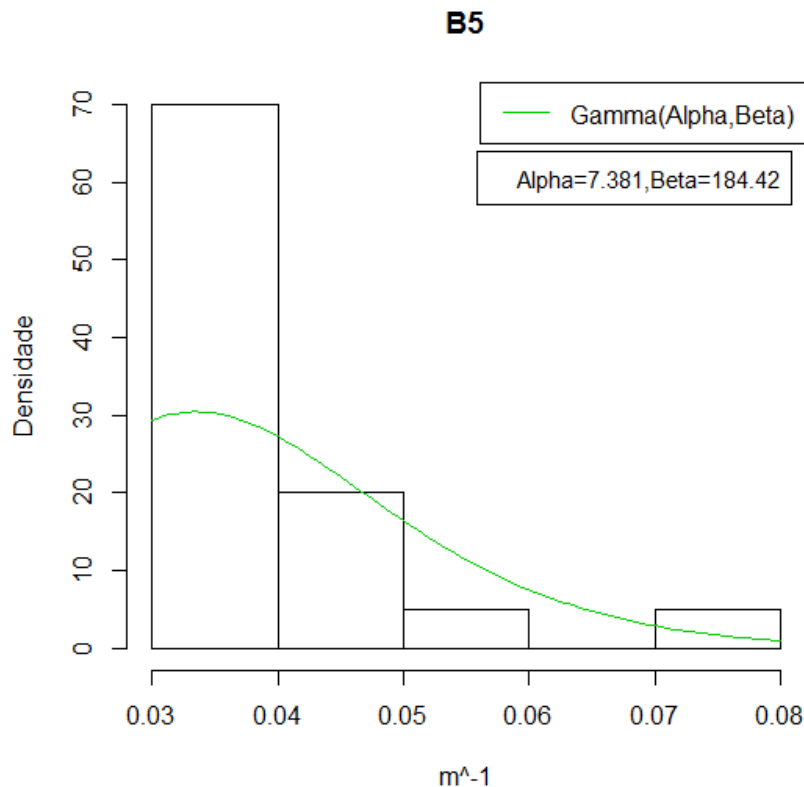


Figura 18: Histograma dos dados coletados de opacidade para o uso de B5.

A partir dos dados coletados e tratados por meio da metodologia apresentada no ANEXO I, são apresentados os intervalos de confiança para as medidas de opacidade decorrentes do uso dos combustíveis AMD100 e B5 (Figura 19). Observa-se que as médias dos resultados obtidos são diferentes, com $0,05350 \text{ m}^{-1}$ e intervalo de confiança de $[0,0446; 0,0625]$ para o AMD100 e $0,03850 \text{ m}^{-1}$ e intervalo de confiança de $[0,032; 0,045]$ para o B5, com nível de significância de 5%. Desta forma, as medidas de opacidade decorrentes do uso do AMD100 apresenta variâncias e médias estatisticamente diferentes às obtidas para o uso do B5. Para a amostra analisada a opacidade média do combustível AMD100 é 28,1% maior que a opacidade média do B5.

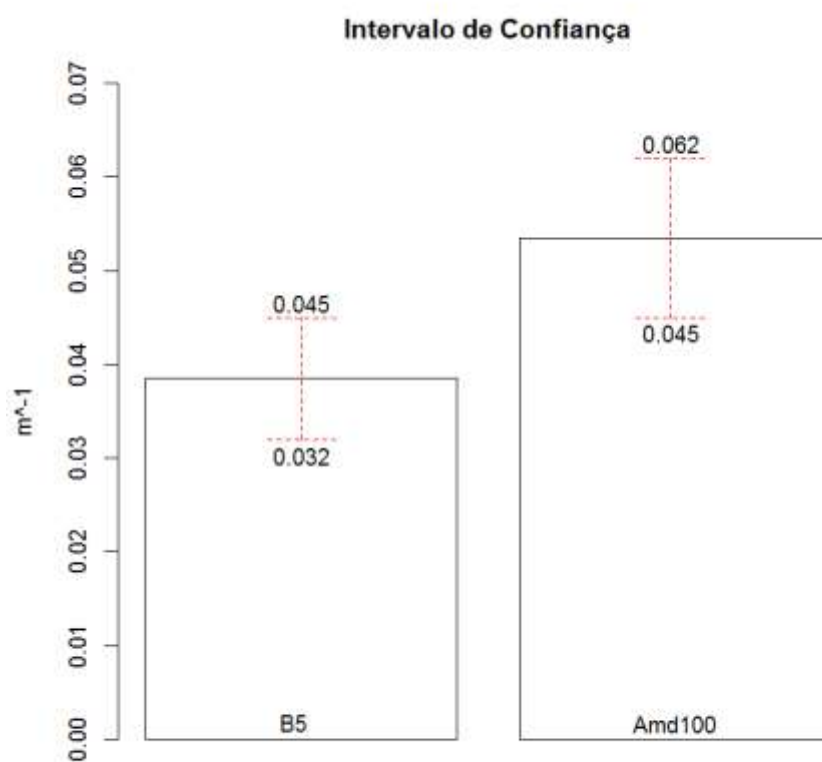


Figura 19: Intervalos de confiança da opacidade para os combustíveis AMD100 e B5.

Também pode ser observado o comportamento da distribuição e as médias dos valores de opacidade para uso dos combustíveis AMD100 e B5 (Figura 20). Observa-se que as curvas de distribuição apresentam um comportamento de dispersão um pouco diferente entre si, com a presença de dois picos da curva de distribuição do AMD100. Esse comportamento pode ser justificado pela pequena quantidade de dados coletados, não sendo possível apresentar uma curva bem definida.

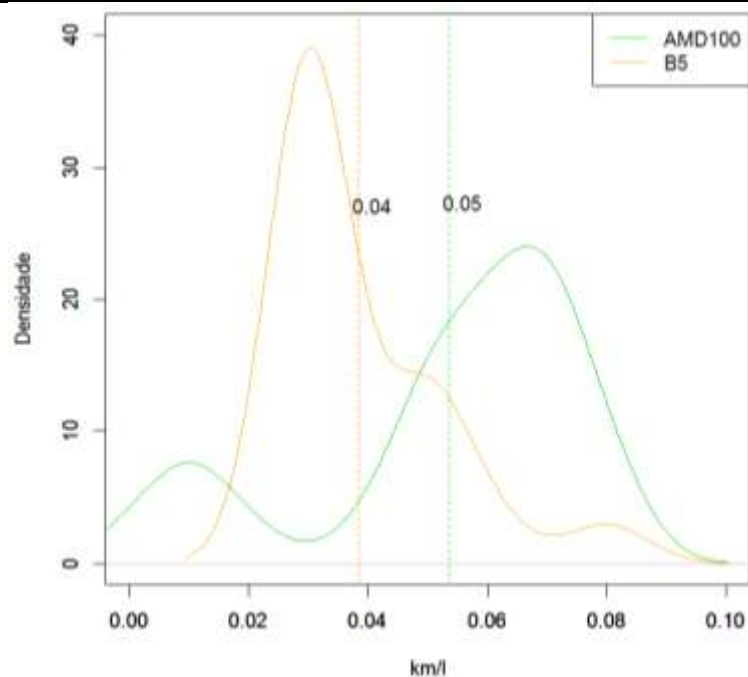


Figura 20: Densidade da medida opacidade para o uso dos combustíveis AMD100 e B5.

5.2.2 CENÁRIO 2 – AMD100 X B6

O histograma dos valores encontrados tanto para a medida de opacidade obtida pelo uso do AMD100 como para o uso do B6 é apresentado nas Figuras 21 e 22. A partir dos gráficos, é possível observar que os dados coletados das medidas de opacidade sugerem uma distribuição Gamma tanto para o AMD100 quanto para o B6.

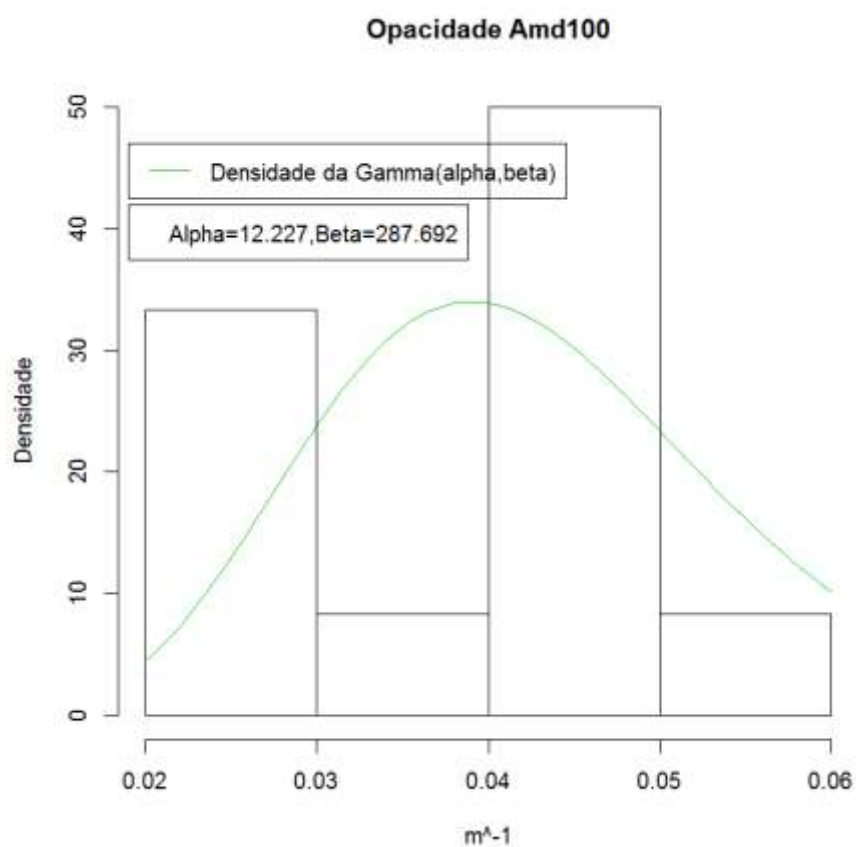


Figura 21: Histograma dos dados coletados de opacidade para o uso de AMD100.

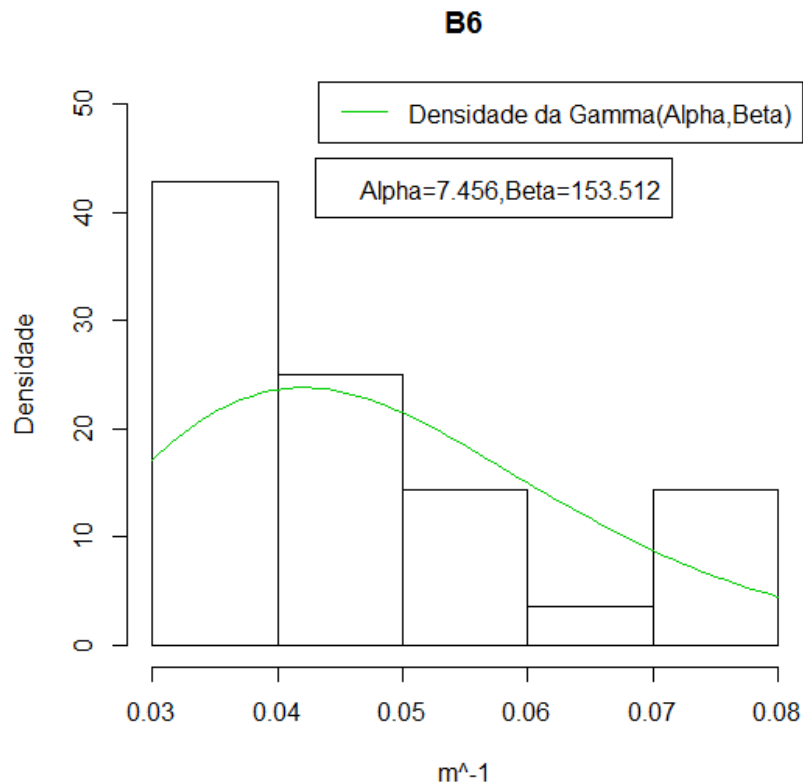


Figura 22: Histograma dos dados coletados de opacidade para o uso de B6.

A partir dos dados coletados e tratados por meio da metodologia apresentada no ANEXO I, são apresentados os intervalos de confiança para as medidas de opacidade decorrentes do uso dos combustíveis AMD100 e B6 (Figura 23). Observa-se que as variâncias e as médias dos resultados obtidos são estatisticamente iguais, com $0,0425 \text{ m}^{-1}$ e intervalo de confiança de $[0,035; 0,050]$ para o AMD100 e $0,0485 \text{ m}^{-1}$ e intervalo de confiança de $[0,042; 0,055]$ para o B6, com nível de significância de 5%. Desta forma, conforme a metodologia do ANEXO 1, não se rejeita a hipótese de igualdade para as médias e variâncias, embora a amostra analisada apresente a opacidade média do combustível AMD100 14,2% menor que a opacidade média do B6.

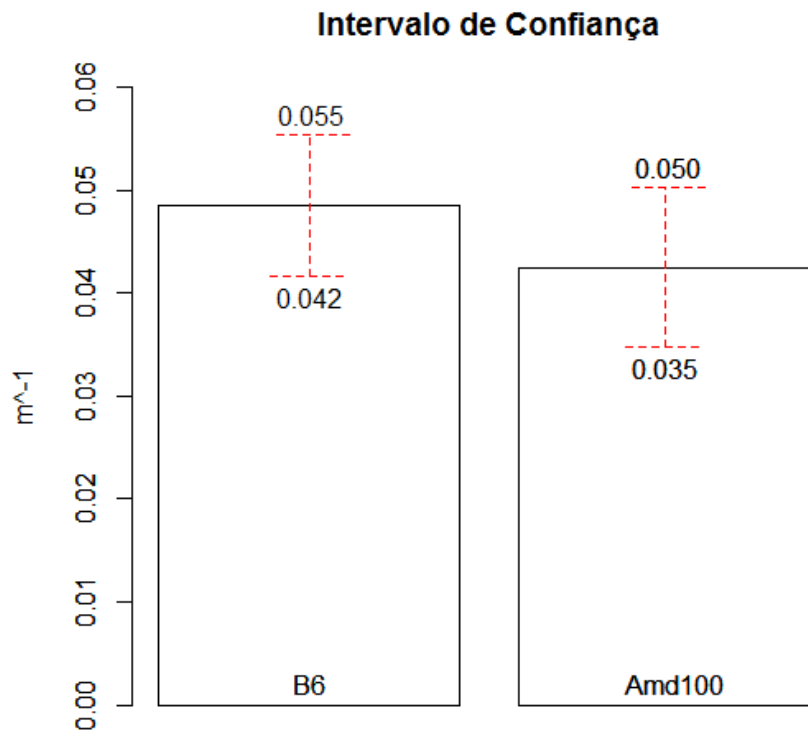


Figura 23: Intervalos de confiança da opacidade para o uso dos combustíveis AMD100 e B6.

A Figura 24 apresenta o comportamento da distribuição e as médias dos valores de opacidade para os combustíveis AMD100 e B6. Observa-se que as curvas de distribuição apresentam um comportamento de dispersão um pouco diferente, com a presença um pico acentuado para a curva do AMD100 e um maior achatamento para a curva do B6. Esse comportamento pode ser justificado pela pequena quantidade de dados coletados, não sendo possível apresentar uma curva bem definida.

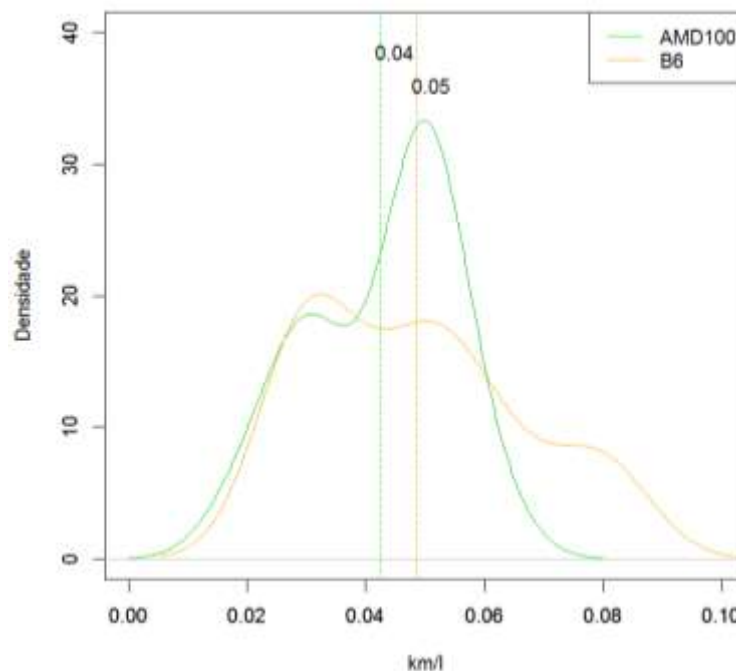


Figura 24: Densidade da medida opacidade dos combustíveis AMD100 e B6.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados dos testes realizados, considerando os 5 tipos de combustíveis (B5, B6, B7, AMD100 e AMD10) e os dados coletados, o presente relatório comparou 3 diferentes cenários: (1) no mês de junho, os veículos que rodaram com AMD100 (100% de diesel de cana) foram comparados com os veículos que utilizaram B5; (2) em julho e agosto, os veículos que rodaram com AMD100 foram comparados com aqueles que utilizaram B6; (3) e em novembro e dezembro de 2014 e janeiro de 2015, os veículos que rodaram com AMD10 (mistura de 10% de diesel de cana com 90% de B7) foram comparados com os que utilizaram B7.

Os testes foram realizados por 156 dias com ônibus urbanos articulados operando no BRT Transcarioca com diesel de cana (AMD100 e AMD10) e veículos semelhantes utilizando diesel comum (B5, B6, B7). Os dados coletados em campo acumularam mais de 600 mil quilômetros e consumindo pouco mais de 400 mil litros de combustível.

A partir da análise dos resultados dos testes realizados verificou-se que os veículos abastecidos com diesel de cana (AMD100) apresentaram rendimento (km/l) 3,79% inferior aos veículos abastecidos com B5 e 1,56% superior aos veículos abastecidos com B6. Os veículos abastecidos com AMD10 apresentaram rendimento do combustível 1,84% superior aos veículos abastecidos com B7. Em relação à leitura de opacidade, tanto os veículos abastecidos com diesel de cana (AMD100) quanto os veículos abastecidos com diesel comum (B5 e B6) apresentaram todos os resultados menores do que o limite regulamentado de $1,7 \text{ m}^{-1}$, sendo que os veículos abastecidos com diesel de cana apresentaram 28,1% de opacidade maior que os abastecidos com diesel comum no cenário 1 e 14,2% menor no cenário 2.

Os resultados foram obtidos a partir dos dados de rendimento [km/l] e opacidade [m^{-1}] coletados em campo para cada um dos veículos observados. No caso do rendimento, os dados primários considerados foram volume abastecido [l] e quilometragem entre abastecimentos [km]. Não se obteve qualquer informação quanto ao o carregamento (em passageiros) e não se observou semelhança de itinerário ou de regime de operação entre os veículos que operavam com diesel de cana e com diesel comum. Estes parâmetros operacionais foram considerados semelhantes por premissa, uma vez que todos os veículos operavam no mesmo corredor do BRT Transcarioca. Porém, sabe-se que estes parâmetros podem impactar no rendimento do combustível e uma avaliação mais apurada do comportamento dos valores desta medida poderia ser considerada se os dados de carregamento e itinerário (p.ex.: registro do aparelho de rastreamento dos veículos) forem disponibilizados.

Vale ressaltar que o regime de operação do corredor BRT Transcarioca no cenário de comparação 1, que compreendeu o mês junho, foi diferente dos cenários 2 e 3 que compreenderam os meses de julho a dezembro de 2014 e janeiro de 2015. Isso se deve pelo fato de algumas estações do corredor não estarem totalmente finalizadas no primeiro mês. Além disso, não foi possível estabelecer um único tipo de serviço (expresso, semidireto ou parador) para os veículos abastecidos com diesel comum, apenas os abastecidos com diesel de cana que foram fixados no serviço semidireto.

Face ao que foi apresentado, entende-se que menos incerteza em considerar:

1. Com confiança estatística de 95%, as médias dos rendimentos dos combustíveis em km/l do AMD100 e do AMD10 são estatisticamente iguais as médias do B6 e do B7, respectivamente;
2. Com confiança estatística de 95%, as variâncias dos rendimentos dos combustíveis em km/l do AMD100 e do AMD10 são estatisticamente diferentes das variâncias do B6 e do B7, respectivamente;
3. Com confiança estatística de 95%, estes resultados da medição de opacidade se mostraram estatisticamente iguais (média e variância) para a comparação entre o uso de AMD100 e B8.

Não foi possível analisar as características químicas dos combustíveis testados (AMD100, AMD10, B5, B6 e B7) uma vez que não foram recebidos os resultados dos testes destes combustíveis.

Não foi reportada, pelas empresas operadoras dos veículos em teste, qualquer anormalidade relacionada ao estado de manutenção dos veículos que pudesse ser relacionado ao uso de AMD100 ou AMD10.

Não foi reportada, pelas empresas operadoras dos veículos em teste, qualquer anormalidade relacionada a estocagem e abastecimento dos veículos com AMD100 ou AMD10.

Até a emissão deste Relatório Final não haviam sido publicados os resultados das análises das amostras de óleo lubrificante. Tais resultados, portanto, não puderam ser incluídos neste relatório.

AGRADECIMENTOS

O PET/COPPE/UFRJ agradece a parceria da Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (FETRANSPOR), Viação Redentor Ltda., Transportes Futuro Ltda., Transportes Barra Ltda., Amyris Brasil Ltda., Sindicato Rio ônibus, Raízen Combustíveis S/A. e Ipiranga Produtos de Petróleo S/A., 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 (2014). *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana Relatório Geral 2012*. Associação Nacional dos Transportes Públicos, ANTP, São Paulo, SP.
- FETRANSPOR - Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (2014). Corredor Transcarioca.
- MMA- Ministério do Meio Ambiente (1990). Resolução CONAMA nº 251, 12/01/1999, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, Brasil.
- FETRANSPOR - Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (2014). Dados sobre frota utilizada no teste de veículos, abastecimentos e distâncias percorridas. Rio de Janeiro, RJ.

**Monitoramento dos testes de uso de diesel de
cana em frota do BRT Transcarioca no
Município do Rio de Janeiro
PROJETO BRT + VERDE**

**RELATÓRIO FINAL
EMITIDO EM: 19/03/2015**