

## **A MOBILIDADE BRASILEIRA COM O ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**

Décio Magioli Maia<sup>1</sup>, Antonio Carlos Scardini Villela<sup>1</sup>, Guilherme Bastos Machado<sup>1</sup>,  
Juliana Belincanta<sup>1</sup>, Miguel Andrade<sup>2</sup>, Franck Turkovics<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PETROBRAS

<sup>2</sup>UNIFACS

<sup>3</sup>PSA

E-mails: [deciomaia@petrobras.com.br](mailto:deciomaia@petrobras.com.br), [antonio.villela@petrobras.com.br](mailto:antonio.villela@petrobras.com.br),  
[machadogb@petrobras.com.br](mailto:machadogb@petrobras.com.br), [jbelincanta@petrobras.com.br](mailto:jbelincanta@petrobras.com.br), [miguelfilho@unifacs.br](mailto:miguelfilho@unifacs.br),  
[franck.turkovics@mpsa.com](mailto:franck.turkovics@mpsa.com)

### **RESUMO**

A elevada disponibilidade de biomassa ligno-celulósica residual no Brasil apresenta potencial para importante incremento na produção de etanol. A obtenção de etanol a partir do bagaço de cana (etanol de segunda geração-2G) aumentará substancialmente o rendimento deste combustível por tonelada de cana processada.

Para avaliar tecnicamente a sua aplicação em motores está sendo realizado, em 2014, um extenso teste de campo em todo o Brasil, em parceria com fabricantes de veículos, no qual se levará uma frota abastecida com o etanol 2G às principais capitais do país, num percurso de aproximadamente 20.000 km, para avaliar o novo produto em condições reais de condução quanto à dirigibilidade, emissões de poluentes, consumo do combustível, desempenho em retomadas de velocidades e durabilidade de componentes dos motores.

Este trabalho apresenta os resultados iniciais de medição das emissões de poluentes, consumo de combustível e retomada de velocidades em pista de testes, comparando os valores obtidos para o etanol 2G e para o etanol convencional. Também apresenta a metodologia que está sendo utilizada no teste de campo e os resultados comparativos dos ensaios de durabilidade, realizados com motores em bancadas de ensaios, com o etanol convencional e com o etanol 2G.

Por este conjunto de medições feitas até o momento, o etanol 2G pode ser considerado como adequado ao uso veicular. Falta a finalização do teste de campo e dos ensaios finais de desempenho, para a análise ser conclusiva e ocorrer a introdução do etanol 2G na mobilidade brasileira.

### **INTRODUÇÃO**

O etanol apresenta relevância mundial como fonte de energia alternativa ao petróleo, considerando algumas vantagens, como seu caráter renovável. Recentemente, o etanol vem

expandindo sua atuação no ramo de transporte terrestre e de aviação, sendo produzido a partir de diferentes matérias-primas e diferentes processos.

A elevada disponibilidade de biomassa ligno-celulósica residual no Brasil apresenta potencial para importante incremento na produção de etanol. A saber, uma tonelada de cana-de-açúcar produz em média 280 kg de bagaço úmido e em torno de 85 litros de etanol de rota fermentativa (etanol 1G). A obtenção de etanol a partir do bagaço (etanol 2G) aumentará o rendimento deste combustível por tonelada de cana processada.

O etanol de segunda geração (etanol 2G) é a mesma molécula do etanol convencional e tem, teoricamente, a mesma eficácia. Porém essa nova tecnologia para obtenção do etanol é resultado do tratamento e reaproveitamento do bagaço da cana de usinas convencionais. Nesse caso, os açúcares são reaproveitados e reutilizados para a produção do etanol e o resíduo, formado por fibras, é utilizado para gerar vapor e energia elétrica para o funcionamento da planta. O principal aspecto dessa tecnologia é a verticalização da produção, isto é, o aumento da produção de etanol sem o aumento da área de cana plantada.

A produção do etanol 2G começa a partir de um pré-tratamento para separar as fibras do bagaço da cana. Logo depois o material passa por um processo chamado hidrólise enzimática, que transforma o bagaço em açúcares. Com a fermentação e a ação das leveduras, esses açúcares viram etanol. Por fim, o processo é concluído com a destilação, que purifica o etanol para que ele possa ser utilizado como combustível. Essa tecnologia possibilita para o país e para a PETROBRAS aumentar em até 40% a produção de etanol sem a necessidade de ocupar mais área plantada.

Segundo estudo da Hart Energy, apesar de um razoável número de plantas piloto e de demonstração de etanol de segunda geração (2G) no mundo, com capacidade total de 216 milhões de litros anuais, o que existe em escala comercial é uma planta na Noruega com aproximadamente 20 milhões de litros anuais de capacidade, além de seis plantas comerciais em construção com capacidade total de 178 milhões de litros por ano. São volumes pequenos, que dependeram, em grande parte, de programas e financiamentos governamentais. No Brasil, a possibilidade de aumento da produção de etanol através do aproveitamento do bagaço e da palha da cana tem mobilizado esforços de vários centros de pesquisa, empresas de tecnologia e grandes produtores de etanol, alguns brasileiros e muitos estrangeiros, já envolvidos em pesquisas de etanol celulósico em outros países.

Mundialmente há incentivos para a utilização de biocombustíveis obtidos a partir de rotas avançadas, ou seja, de rotas que não usem matérias-primas que poderiam ser utilizadas como alimento. No Brasil, o PAISS (Plano de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico) é uma iniciativa conjunta do BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento) e da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), com previsão de quatro anos de duração, para seleção de planos de negócio e fomento a projetos que contemplem o desenvolvimento, a produção e a comercialização de novas tecnologias industriais destinadas ao processamento da biomassa oriunda da cana-de-açúcar. Dentre as linhas temáticas deste programa há a de “Bioetanol de 2ª Geração”, com foco em desenvolvimento de tecnologias de coleta e transporte de palha de cana-de-açúcar, otimização de processos de pré-tratamento de biomassa de cana para hidrólise, desenvolvimento dos processos de produção de enzimas e/ou de processos de hidrólise de material ligno-celulósico oriundo da biomassa da cana-de-açúcar, desenvolvimento de microrganismos e/ou de processos de fermentação de pentoses; e integração e escalonamento de processos para produção de etanol celulósico. Treze empresas

tiveram o Plano de Negócios aprovado, dentre elas a PETROBRAS, Abengoa, Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Dow Brasil, ETH Bioenergia e a Novozymes.

A PETROBRAS desenvolve projetos de pesquisa para a produção do etanol 2G, contando com a parceria de instituições científicas do Brasil e do exterior na área de produção de etanol celulósico desde 2004, com planta piloto desde 2008. Possui ainda um projeto de planta comercial no Brasil, agora com apoio do PAISS.

A Câmara de Comércio Americana concedeu o “Prêmio Brasil Ambiental 2012” à tecnologia da PETROBRAS para produção de etanol 2G. Este prêmio reconhece as práticas ambientais de destaque desenvolvidas por empresas que atuam nos Estados Unidos. Ainda em 2012, a tecnologia foi apresentada pela Petrobras Biocombustível em outros eventos importantes, como a Rio Oil & Gas e o 8º “Biodiesel Congress”, em São Paulo.

Em 2012 foi produzida a primeira batelada de 100 mil litros de etanol 2G, em uma planta de demonstração e os testes para produção em escala industrial do etanol 2G estão em fase avançada. A unidade deverá ser integrada a uma usina de etanol operada pela Petrobras Biocombustível.

Neste ínterim, está em andamento no Centro de Pesquisas da PETROBRAS - CENPES um projeto de pesquisa cujo objetivo principal é obter conhecimento para negociação de especificações futuras, se necessárias, quanto à identificação de possíveis diferenças do etanol 2G em relação ao etanol convencional (etanol 1G), tanto nas propriedades físico-químicas e na presença de eventuais contaminantes, inerentes ao processo de produção, quanto na aplicação em motores a partir de ensaios de durabilidade, através de testes de longa duração e alta severidade em motores montados a partir de peças previamente dimensionadas pelo fabricante.

Preliminarmente, durante a Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, 40 minivans utilizadas no transporte dos conferencistas, foram abastecidas com o etanol 2G no Posto do Futuro da Petrobras Distribuidora, para uma verificação preliminar e básica da utilização real do produto em motores com a tecnologia flex.

Complementando o rol de avaliações técnicas está sendo realizado, em 2014, um extenso teste de campo em todo o Brasil, em parceria com dois fabricantes de veículos, no qual se levará uma frota abastecida com o etanol 2G às principais capitais do país, num percurso de aproximadamente 20.000 km, para avaliar o etanol 2G em condições reais de condução quanto à durabilidade, dirigibilidade, emissões de poluentes, consumo do combustível e desempenho em retomadas de velocidades; os ensaios de emissões de poluentes, realizados ao início e ao final do teste de rodagem asseguram um acompanhamento do sistema catalítico, para verificar se há componentes que desativam a conversão de poluentes, reduzindo a sua eficiência.

Este trabalho apresenta os resultados comparativos dos ensaios de durabilidade com o etanol convencional (etanol 1G) e o etanol 2G, bem como os resultados iniciais de medição das emissões de poluentes, consumo de combustível e retomadas de velocidades em pista de testes, comparando os valores obtidos com ambos os combustíveis, mostrando que não há diferença significativa entre eles. Também apresenta a metodologia que está sendo utilizada para a realização do teste de campo.

## 1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Para obtenção do conhecimento sobre o novo produto, a fim de se preparar para negociação de especificações futuras, se necessárias, foi analisado o etanol de segunda geração (2G) em comparação ao etanol de primeira geração (1G) e ambos comparados com os limites da especificação atual para o etanol hidratado; não foram observadas diferenças significativas conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Análises físico-químicas comparativas entre os dois produtos

Ensaio	Métodos	Limites	1G	2G
Aspecto	Visual	LII	LII	LII
Cor	Visual		incolor	XXX
Acidez total, mg/L	NBR 9866	30 máx.	7,9	7,2
Condutividade elétrica, $\mu\text{S/m}$	NBR 10547	350 máx.	107	201
Massa específica a 20°C, $\text{kg/m}^3$	ASTM D4052	807,6 a 811,0	810,3	808,9
Teor alcoólico, °INPM	NBR 5992	92,5 a 93,8	92,8	93,3
pH		6,0 a 8,0	7,1	7,2
Teor de hidrocarbonetos, mg/kg	CENPES	3 máx.	0	2
Sódio, mg/kg	NBR 10422	2 máx.	2	2
Ferro, mg/kg	NBR 11331	5 máx.	< 0,1	<0,1
Sulfato, mg/kg	NBR 10894	4 máx.	0,6	<0,1
Cloreto, mg/kg	NBR 10894	1 máx.	0,1	0,6

## 2. ENSAIO DE DURABILIDADE EM BANCO DE PROVAS DE MOTOR

O ensaio de durabilidade implementado neste projeto objetiva a avaliação da utilização do etanol 2G sob condições severas de funcionamento do motor, observando sua interação com a estrutura do motor e desgaste de componentes. Foi planejada a realização de dois ensaios de durabilidade, o primeiro com o etanol hidratado comercial e o segundo com o etanol 2G hidratado. O teste com o etanol comercial será a referência para comparação de desempenho e desgaste dos componentes do motor.

A implantação do ensaio de durabilidade em motor, realizada em parceria com a PSA (Peugeot-Citroën) envolveu uma série de adaptações em um dos bancos de provas do LEM – Laboratório de Ensaio em Motores do CENPES, para operação totalmente automatizada e desassistida.

O ensaio possui 500 horas de duração, realizadas a partir da repetição de dois ciclos de operação do motor em banco de provas. Os ciclos são chamados Tipo 1 e Tipo 2, com uma hora de duração cada, detalhados nas Figuras 1 e 2. As condições operacionais do motor em diferentes fases dos ciclos são estabelecidas a partir do controle da velocidade de rotação, carga e tempo de execução (tempo do passo). Também são definidos os tempos para se atingir cada condição (tempo de rampa) e o número de repetições, quando aplicável. Os regimes de operação do motor e tempos de execução dos passos foram programados no sistema de controle e automação do banco de provas.

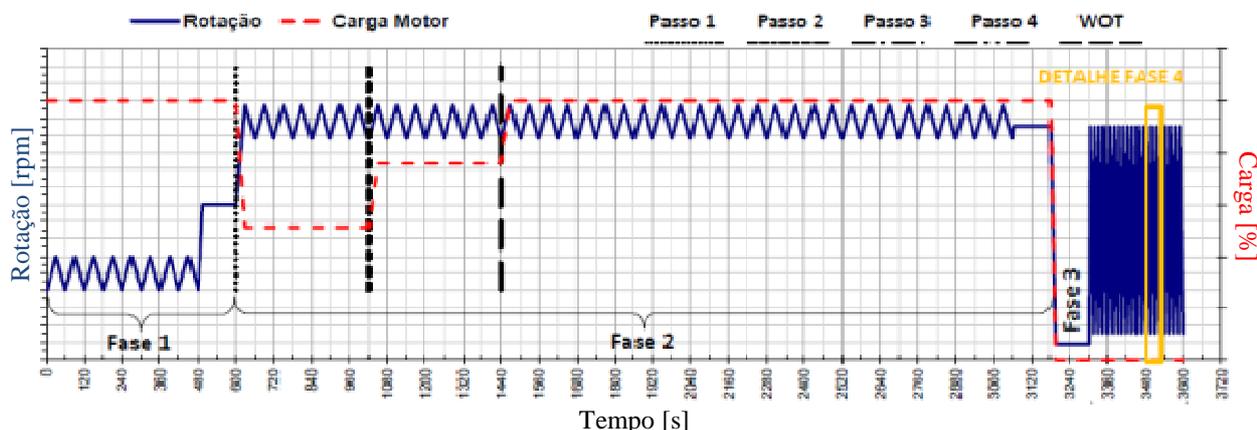


Figura 1 – Condições operacionais do motor no Ciclo Tipo 1

O ensaio é dividido em 5 blocos de 100 horas de duração cada. Cada bloco de 100 horas possui 99 ciclos do Tipo 1 (99 horas) e um ciclo do Tipo 2 (1 hora), este realizado ao final do bloco. Durante toda a execução do bloco de 100 horas, vários parâmetros de controle do motor e do banco são monitorados e gravados no sistema de automação do banco de provas. Foram implantados vários dispositivos de controle que monitoram as condições do ensaio, interrompendo-o automaticamente e de forma segura se algum limite de corte preestabelecido for atingido, preservando o motor e as instalações do banco de provas.

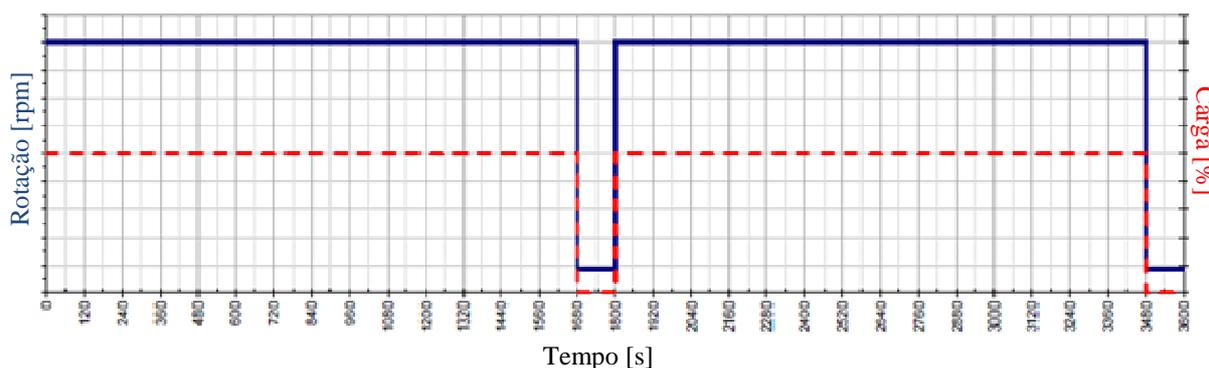


Figura 2 – Condições operacionais do motor no Ciclo Tipo 2

As temperaturas de óleo lubrificante, água de arrefecimento, ar de admissão e entrada de combustível do motor são controladas em malha fechada, conforme mostrado na Tabela 2. O ciclo Tipo 1 é realizado com a temperatura padrão, sendo que a cada 20 horas realiza-se um ciclo Tipo 1 com a temperatura severa. Ao final do bloco (99 até 100 horas) realiza-se o ciclo Tipo 2 na temperatura excepcional.

Tabela 2 – Controle de temperaturas de óleo lubrificante, água de arrefecimento, ar de admissão e combustível

Temperaturas (°C)	Padrão	Severa	Excepcional	Curva de Potência	Cartografia de <i>blow-by</i>
Máxima no óleo do cárter	125±2	145±2	155±2	125±2	125±2
Água de saída do motor	97±2	110±2	118±2	90±2	97±2
Ar de admissão do motor	22±2	22±2	22±2	22±2	22±2
Entrada do combustível no motor	25±2	25±2	25±2	25±2	25±2

Ao final de cada bloco de 100 horas são realizadas manutenções e verificações no motor, dentre elas, substituição de óleo e filtro de óleo lubrificante, com controle do seu consumo, medição da compressão dos cilindros, controle da folga dos eletrodos das velas, com substituição a cada 200 horas, e verificação do estado da correia dentada. Também são realizadas curva de potência em plena carga (1 hora de duração) e cartografia de *blow-by* (3 horas de duração), respeitando as temperaturas da Tabela 2, para avaliação das condições do motor. Se as variáveis de controle estiverem dentro dos limites de especificação de projeto do motor, um novo bloco de 100 horas de teste é iniciado.

Ao final das 500 horas de ensaio é feita uma análise dimensional nos componentes do motor para avaliação do desgaste, comparando com os dados iniciais do motor novo, antes de iniciar o ensaio, bem como com as especificações de projeto.

O primeiro ensaio de durabilidade em motor foi realizado com etanol hidratado comercial, sendo o ensaio de referência para comparação dos resultados. A Figura 3 apresenta as curvas de potência em plena carga no início (após amaciamento do motor) e ao final das 500 horas de ensaio. A Tabela 3 detalha os valores de potência, torque e consumo específico de combustível nas condições operacionais de torque e potência máxima, no início e ao final das 500 horas de ensaio. Os dados foram obtidos a partir de curvas de potência em plena carga (Figura 3), realizadas com base na norma ABNT NBR ISO 1585 [1].

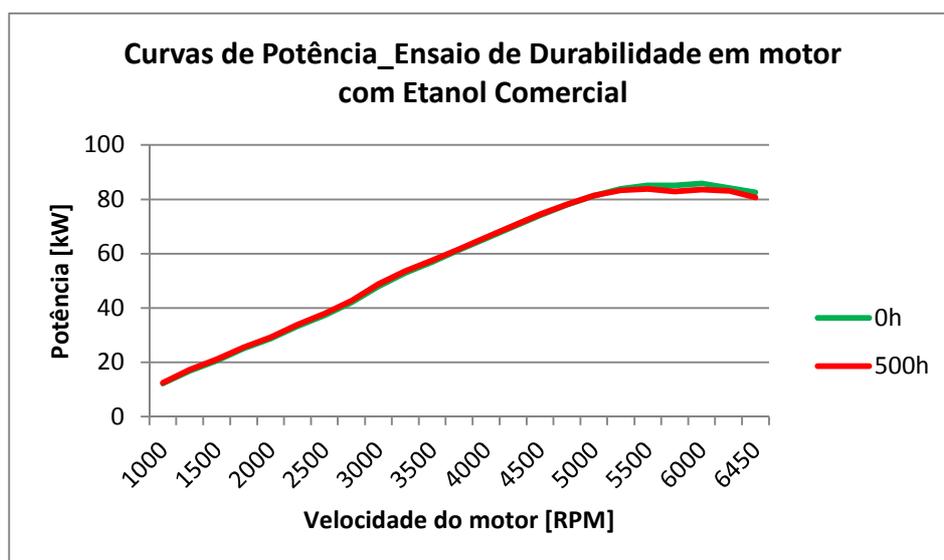


Figura 3 – Curvas de potência em plena carga com Etanol Hidratado Comercial

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram uma queda de potência de 2,7% no regime de potência máxima. Na condição de torque máximo houve um aumento de potência de 0,8%. A incerteza de medição calculada foi de 0,6%.

Tabela 3 – Potência, torque e consumo específico de combustível, nas condições de torque e potência máxima, no início e ao final das 500 horas do ensaio de durabilidade em motor, utilizando etanol hidratado comercial

Condição operacional	Torque máx.(0h)	Torque máx.(500h)	Potência máx.(0h)	Potência máx.(500h)
Velocidade rotacional [rpm]	4000	4000	5800	5800
Torque corrigido [Nm]	156,65	157,93	140,26	136,46
Potência corrigida [kW]	65,62	66,15	85,19	82,88
Consumo específico [g/kWh]	405,36	403,11	473,79	489,78

A Tabela 4 mostra o consumo de óleo lubrificante do motor nos intervalos de 100 a 200, 200 a 300, 300 a 400 e 400 a 500 horas de ensaio. Vazamento no sistema do banco de provas para controle da temperatura do óleo do motor impediu o registro do consumo no intervalo de zero a 100 horas de ensaio.

Tabela 4 – Consumo de óleo lubrificante do motor durante o ensaio de durabilidade, utilizando etanol hidratado comercial

Período do teste [hora]	100 a 200	200 a 300	300 a 400	400 a 500
Consumo de óleo lubrificante do motor [g]	1230	1040	1015	965

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram a manutenção do consumo de óleo lubrificante do motor em níveis considerados normais, o que sugere o bom estado do motor ao final das 500 horas de teste, apesar da queda de potência observada no regime de potência máxima. Os dados de compressão dos cilindros do motor e valores máximos de vazão de *blow-by* no início e a cada 100 horas de ensaio, apresentados nas Tabelas 5 e 6, também indicam o bom estado geral do motor ao longo do ensaio. Não houve diminuição da compressão dos cilindros ao final do ensaio e o nível de *blow-by* esteve sempre abaixo do limite de 60 L/min deste motor.

Tabela 5 – Compressão dos cilindros do motor ao longo do ensaio de durabilidade, utilizando etanol hidratado comercial

Compressão nos cilindros [kgf/cm <sup>2</sup> ]						
Cilindro	0h	100h	200h	300h	400h	500h
1	14	14	14	14	13,5	14
2	13,5	13,5	13,5	13,8	13,5	14,5
3	13,5	14	14	14	13	14
4	14	13,5	13,5	14	14,5	14

Cilindro 1 = Lado Correia ; Cilindro 4 = Lado Volante

Tabela 6 – *Blow-by* do motor ao longo do ensaio de durabilidade, utilizando etanol hidratado comercial

<i>Blow-by</i> máximo [L/min]					
0h	100h	200h	300h	400h	500h
27	25,1	24,7	19,9	20,6	20,5

Está em andamento análise das propriedades do óleo lubrificante usado em cada período de 100 horas de teste, para avaliar sua degradação e, indiretamente, a evolução do desgaste do motor. O motor já foi destinado para realização das análises dos componentes nos fornecedores para avaliação do seu estado geral ao final do ensaio. As análises em andamento poderão ajudar a compreender a evolução dos parâmetros de desempenho do motor ao longo do ensaio, apresentados nas Tabelas 3 a 6.

O segundo ensaio de durabilidade em motor, utilizando o etanol 2G hidratado, também foi concluído com sucesso. A Figura 4 apresenta as curvas de potência em plena carga no início (após amaciamento do motor) e ao final das 500 horas de ensaio. A Tabela 7 detalha os valores de potência, torque e consumo específico de combustível nas condições operacionais de torque e potência máxima, no início e ao final das 500 horas de ensaio. Assim como no ensaio de referência, os dados foram obtidos a partir de curvas de potência em plena carga (Figura 4), realizadas com base na norma ABNT NBR ISO 1585 [1].

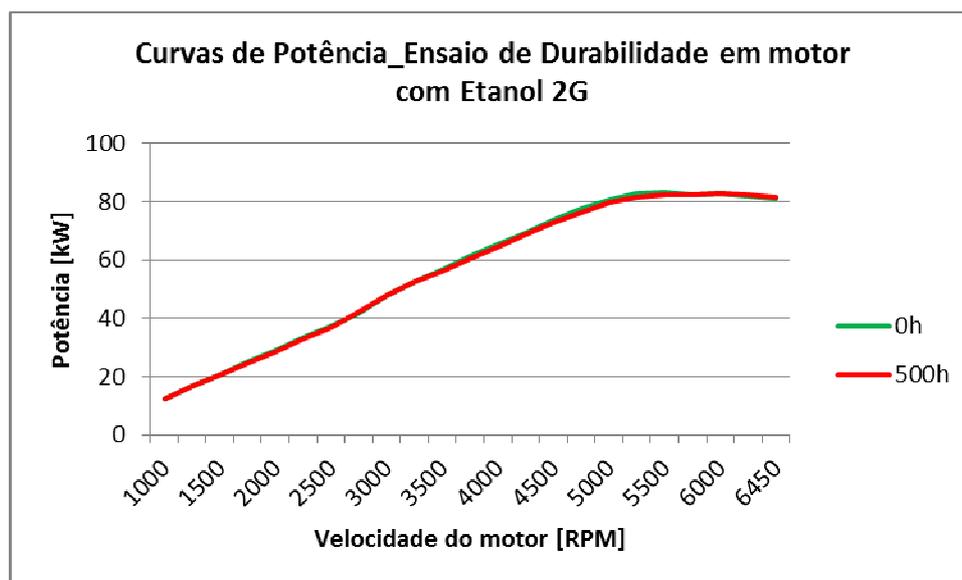


Figura 4 – Curvas de potência em plena carga com Etanol 2G Hidratado

Tabela 7 – Potência, torque e consumo específico de combustível nas condições de torque e potência máxima, no início e ao final das 500 horas do ensaio de durabilidade em motor, utilizando etanol 2G hidratado

Condição operacional	Torque máx.(0h)	Torque máx.(500h)	Potência máx.(0h)	Potência máx.(500h)
Velocidade rotacional [rpm]	4000	4000	5800	5800
Torque corrigido [Nm]	156,10	154,18	135,94	135,48
Potência corrigida [kW]	65,39	64,58	82,57	82,27
Consumo específico [g/kWh]	401,44	390,06	486,50	469,31

Os resultados apresentados na Tabela 7 mostram uma queda de potência de 0,3% no regime de potência máxima. Na condição de torque máximo houve queda de potência de 1,2%. A incerteza de medição é a mesma do ensaio de referência, 0,6%.

Baseando-se apenas nos dados de desempenho, observa-se que o motor utilizando o etanol 2G hidratado manteve o nível de potência máxima do motor, pois a diferença encontrada está dentro da incerteza de medição do banco de provas. A queda da potência máxima do motor que utilizou o etanol hidratado comercial foi mais acentuada (Tabela 3). Com relação ao torque máximo, as diferenças encontradas após as 500 horas de ensaio foram pouco expressivas e de difícil percepção pelo usuário no veículo.

A Tabela 8 mostra o consumo de óleo lubrificante do motor que utilizou o etanol 2G nos intervalos de 0 a 100, 100 a 200, 300 a 400 e 400 a 500 horas de ensaio. Vazamento no sistema do banco de provas para controle da temperatura do óleo do motor impediu o registro do consumo no intervalo de 200 a 300 horas de ensaio.

Tabela 8 – Consumo de óleo lubrificante do motor durante o ensaio de durabilidade, utilizando etanol 2G hidratado

Período do teste [hora]	0 a 100	100 a 200	300 a 400	400 a 500
Consumo de óleo lubrificante do motor [g]	1075	1060	1140	1185

Assim como ocorreu no ensaio de referência, os resultados apresentados na Tabela 8 mostram a manutenção do consumo de óleo lubrificante do motor em níveis considerados normais, o que sugere o bom estado do motor ao final das 500 horas de teste. Os dados de compressão dos cilindros do motor e valores máximos de vazão de *blow-by* no início e a cada 100 horas de ensaio, apresentados nas Tabelas 9 e 10, também indicam o bom estado geral do motor ao longo do ensaio. Não houve diminuição da compressão dos cilindros ao final do ensaio e o nível de *blow-by* esteve sempre abaixo do limite de 60 L/min deste motor.

Está em andamento análise das propriedades do óleo lubrificante usado em cada período de 100 horas de teste, para avaliar sua degradação e, indiretamente, a evolução do desgaste do motor. O motor também foi destinado para realização das análises dos componentes nos fornecedores e avaliação do seu estado geral ao final do ensaio. As avaliações em andamento poderão aprofundar as análises dos parâmetros de desempenho do motor ao longo do ensaio, apresentados nas Tabelas 7 a 10.

Tabela 9 – Compressão dos cilindros do motor ao longo do ensaio de durabilidade, utilizando etanol 2G hidratado

Compressão nos cilindros [kgf/cm <sup>2</sup> ]						
Cilindro	0h	100h	200h	300h	400h	500h
1	14,5	15	14,5	14,5	14,5	15
2	14,5	15	14,5	14,5	14	14,5
3	14,5	15	14,5	15	14	14,5
4	14,5	15	14,5	15	15	15

Cilindro 1 = Lado Correia ; Cilindro 4 = Lado Volante

Tabela 10 – *Blow-by* do motor ao longo do ensaio de durabilidade, utilizando etanol 2G hidratado

<i>Blow-by</i> máximo [L/min]					
0h	100h	200h	300h	400h	500h
24,2	19,1	17,1	17,3	17,8	19,5

Os resultados parciais apresentados sugerem que o etanol 2G hidratado apresenta desempenho de uso satisfatório, compatível com o desempenho observado para o etanol hidratado comercial utilizado como referência. Esta observação, no entanto, somente será confirmada integralmente após a análise dimensional dos componentes dos motores e análise do óleo lubrificante utilizado.

### 3. TESTES EM VEÍCULOS

Considerando a percepção do consumidor sobre a performance de um veículo utilizando diferentes combustíveis, há três principais aspectos que devem ser avaliados: emissões de poluentes, consumo de combustível e retomada de velocidade. Com o objetivo de comparar a performance com etanol 2G e etanol comercial (1G), as subseções seguintes descrevem os testes e resultados referentes aos aspectos acima mencionados com ambos os combustíveis. Seis veículos foram utilizados nos testes, conforme mostrado na Tabela 11, a seguir.

Tabela 11. Veículos de Teste

Veículos	Ano	Fase PROCONVE	Motor	Tecnologia
1 e 2	2013	L5	1.5 FlexFuel	MPFI (multiponto)
3	2013	L5	1.6 FlexFuel	MPFI (multiponto)
4	2014	L5	1.0 FlexFuel	MPFI (multiponto)
5	2014	L5	1.6 FlexFuel	MPFI (multiponto)
6	2014	L5	1.8 FlexFuel	MPFI (multiponto)

#### 3.1. Emissões de Poluentes

As emissões de poluentes veiculares não constituem um aspecto que seja direta ou facilmente percebido pelos consumidores. No entanto, têm recebido cada vez mais atenção por parte da sociedade, devido às questões de saúde e ambientais. Desde 1986, o governo brasileiro conduz o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), para regular as emissões causadas por veículos, principalmente nas grandes cidades, melhorando a qualidade do ar e, conseqüentemente, diminuindo o risco à saúde das pessoas. Apesar do etanol 1G e do etanol 2G serem produtos similares, estes são obtidos por processos de produção diferentes. Isso poderia resultar em pequenas concentrações de contaminantes diferentes e desconhecidos carregados para o etanol 2G, visto que o seu processo de produção decorre de desenvolvimento recente. Tais contaminantes poderiam causar aumento das emissões de poluentes e/ou danos ao sistema de controle de emissões dos veículos. Considerando o acima exposto, as emissões de poluentes devem sempre ser avaliadas antes que um novo e/ou diferente produto seja lançado no mercado.

Para o presente trabalho, os ensaios de emissões com três veículos foram realizados no Laboratório de Ensaio Veiculares (LEV) da PETROBRAS, localizado no seu Centro de Pesquisas (CENPES), de acordo com as normas brasileiras ABNT NBR 6601 [2], 12026 [3] e 15598 [4]. Isso permitiu a medição de todos os gases poluentes legislados pelo PROCONVE – hidrocarbonetos não-metano, NMHC, monóxido de carbono, CO, óxidos de nitrogênio, NOx, e aldeídos, RCHO – além do etanol não queimado, ETH e do dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>. Pelo menos três testes foram realizados para cada par veículo / combustível, o que permitiu o tratamento estatístico dos dados.

As Figuras 5 e 6 apresentam as diferenças percentuais estatisticamente significativas entre os resultados de emissões com etanol 1G e 2G para cada modelo testado. O etanol 1G é o combustível de referência. Valores positivos significam resultados melhores (menores emissões) para o etanol 2G, enquanto resultados negativos significam o inverso. Valores nulos significam que os resultados foram equivalentes com os dois combustíveis.

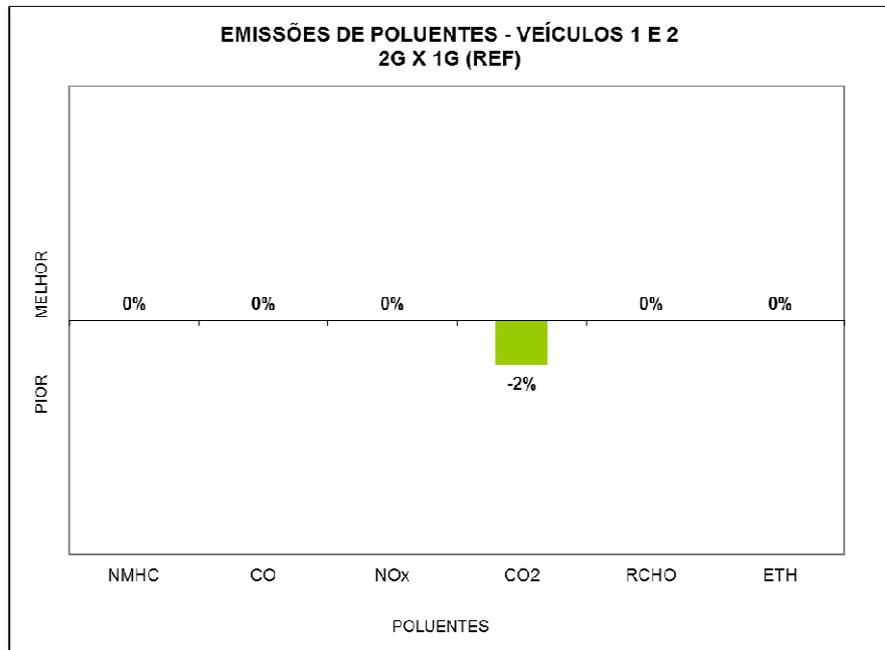


Figura 5 – Diferenças percentuais entre as emissões com etanol 2G e 1G com os veículos 1 e 2

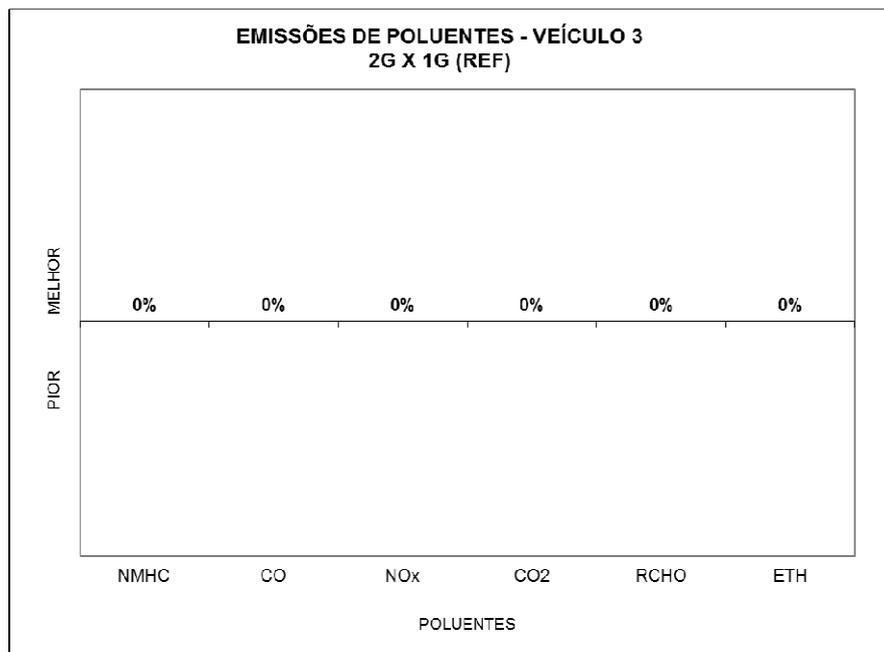


Figura 6 – Diferenças percentuais entre as emissões com etanol 2G e 1G com o veículo 3

Não houve diferenças estatisticamente significativas entre as emissões de NMHC, CO, NO<sub>x</sub>, RCHO e ETH utilizando etanol 2G e 1G, nos três veículos de teste. A única exceção ocorreu com as emissões de CO<sub>2</sub> com os veículos 1 e 2, mas em um percentual pequeno, 2%, o qual tem a mesma ordem de magnitude da incerteza de medição do ensaio.

Em relação aos veículos 4, 5 e 6, o fabricante, após realizar os ensaios, declarou que “os resultados encontrados sobre os veículos avaliados estão enquadrados dentro dos valores típicos de emissões de poluente e consumo de combustível para os modelos em questão. As diferenças medidas entre as duas versões de etanol (1G e 2G) estão dentro das dispersões habitualmente vistas nos ensaios realizados”.

### 3.2. Consumo de Combustível

Diferentemente das emissões de poluentes, o consumo de combustível pode ser facilmente obtido pelo consumidor, seja por cálculos após o reabastecimento ou pelo computador de bordo do veículo. Melhorias no consumo de combustível levam à redução do custo por quilômetro rodado, bem como à redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Por isso, torna-se necessário realizar estudos detalhados sobre esse tema antes de iniciar a comercialização de um novo produto.

Em relação à tecnologia dos veículos, em 2009, o governo brasileiro iniciou um programa voluntário para a etiquetagem veicular (PBEV), que fornece aos consumidores os valores de consumo de combustível de diversos modelos comerciais de veículos leves.

Os ensaios de consumo de combustível de três veículos também foram executados no LEV, conforme a norma brasileira ABNT NBR 7024 [5]. Foram medidos os valores de consumo urbano (URB) e estrada (HW). No entanto, esses valores não foram

combinados como requerido pela norma, com o objetivo de conhecer o comportamento dos veículos nessas duas condições distintas. Da mesma forma que os resultados de emissões, pelo menos três resultados com cada par veículo / combustível foram considerados, de forma a permitir o seu tratamento estatístico.

A Figura 7 apresenta as diferenças percentuais estatisticamente significativas entre os resultados de consumo de combustível com etanol 2G e 1G para cada modelo testado. O etanol 1G é o combustível de referência. Valores positivos significam resultados melhores (menor consumo) para o etanol 2G, enquanto resultados negativos significam o inverso. Valores nulos significam que os resultados foram equivalentes com os dois combustíveis.

Conforme esperado e de acordo com a Figura 7, não houve diferenças entre o consumo com etanol 2G e 1G, com exceção dos valores urbanos para os modelos 1 e 2, os quais apresentaram resultado 2% pior com etanol 2G. Contudo, este pequeno percentual é similar à incerteza do ensaio, que é de 1,5%. A similaridade dos resultados pode ser explicada pelo fato dos dois combustíveis possuírem mesmo poder calorífico e mesma massa específica.

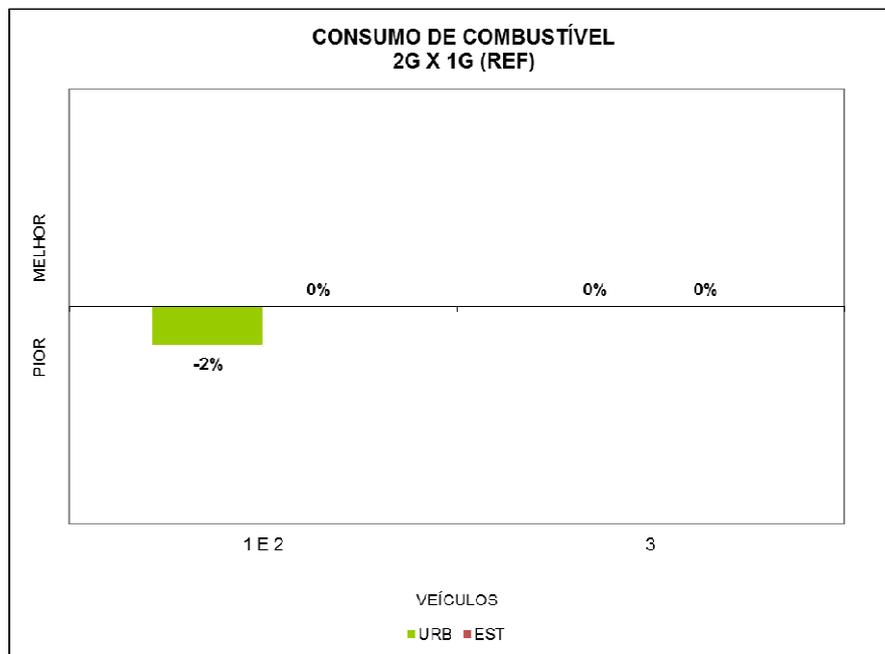


Figura 7 – Diferenças percentuais entre o consumo de combustível com etanol 2G e 1G

Em relação aos veículos 4, 5 e 6, o fabricante, após realizar os ensaios de consumo de combustível declarou, da mesma forma que para a medição das emissões de poluentes, que “os resultados encontrados sobre os veículos avaliados estão enquadrados dentro dos valores típicos de emissões de poluente e consumo de combustível para os modelos em questão. As diferenças medidas entre as duas versões de etanol (1G e 2G) estão dentro das dispersões habitualmente vistas nos ensaios realizados”.

### 3.3. Retomada de Velocidade

Assim como o consumo de combustível, a retomada de velocidade pode ser diretamente percebida, porém isso depende da sensibilidade do consumidor. Em geral, para um condutor médio, diferenças menores do que 3% não são percebidas. Uma melhor retomada de velocidade proporciona não somente prazer ao dirigir, como também garante maior segurança em ultrapassagens ou situações emergenciais, onde o condutor precisa acelerar rápido.

Os ensaios de retomada de velocidade de três veículos foram realizados na pista de testes da PETROBRAS, localizada no Campo de Provas do Exército Brasileiro (CAEx), no Rio de Janeiro, seguindo uma adaptação da norma SAE J1491 [6]. Foram medidos os tempos para três intervalos de velocidade: 40- 80km/h (3ªmarcha), 60-100km/h (4ªmarcha) e 80-120km/h (5ªmarcha). Com o objetivo de minimizar o efeito dos ventos e imperfeições na pista, cada teste é a média de resultados em sentidos opostos. Pelo menos seis ensaios foram realizados para cada par veículo / combustível, permitindo o tratamento estatístico dos dados.

A Figura 8 apresenta as diferenças percentuais significativas entre os resultados de retomada de velocidade com etanol 2G e 1G para cada modelo testado. O etanol 1G é o combustível de referência. Valores positivos significam resultados melhores (menor tempo) para o etanol 2G, enquanto resultados negativos significam o inverso. Valores nulos significam que os resultados foram equivalentes com os dois combustíveis.

Também de acordo com os resultados esperados, não houve diferenças que poderiam ser percebidas pelo consumidor entre os tempos obtidos com etanol 2G e 1G. Isso ocorreu porque a octanagem e o poder calorífico dos combustíveis são os mesmos.

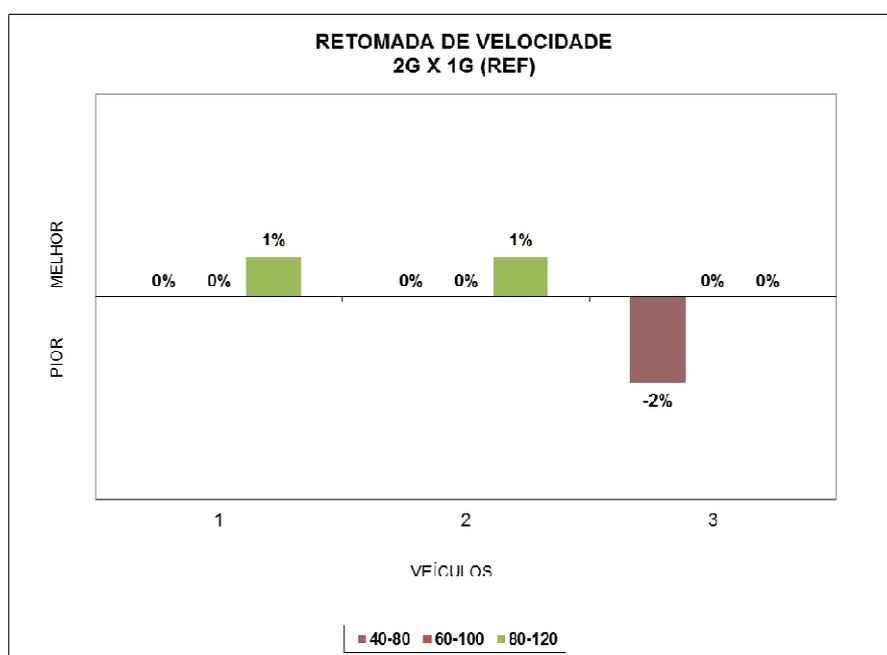


Figura 8 – Diferenças percentuais entre os resultados de retomada de velocidade com etanol 2G e 1G

Em relação aos veículos 4, 5 e 6, o fabricante, após realizar os ensaios, declarou que “os resultados de desempenho em pista apresentam resultados conforme projeto”.

#### 4. TESTES EM MOTORES

Os motores dos veículos 4, 5 e 6 foram testados em banco de provas pelo seu fabricante. Os resultados obtidos foram normalizados utilizando como referência os valores nominais de desempenho dos motores utilizando etanol hidratado convencional. As Figuras 9 e 10 apresentam curvas típicas de torque e potência comparando o etanol 2G com o padrão.

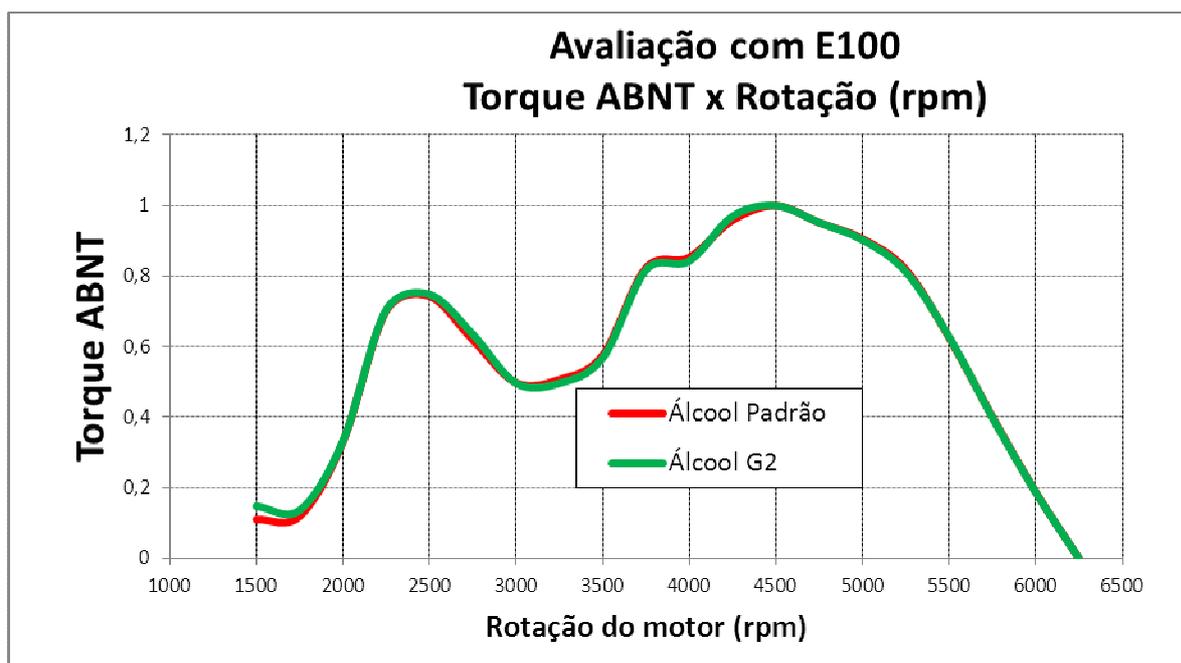


Figura 9 – Diferenças entre os resultados de torque com o etanol 2G e padrão

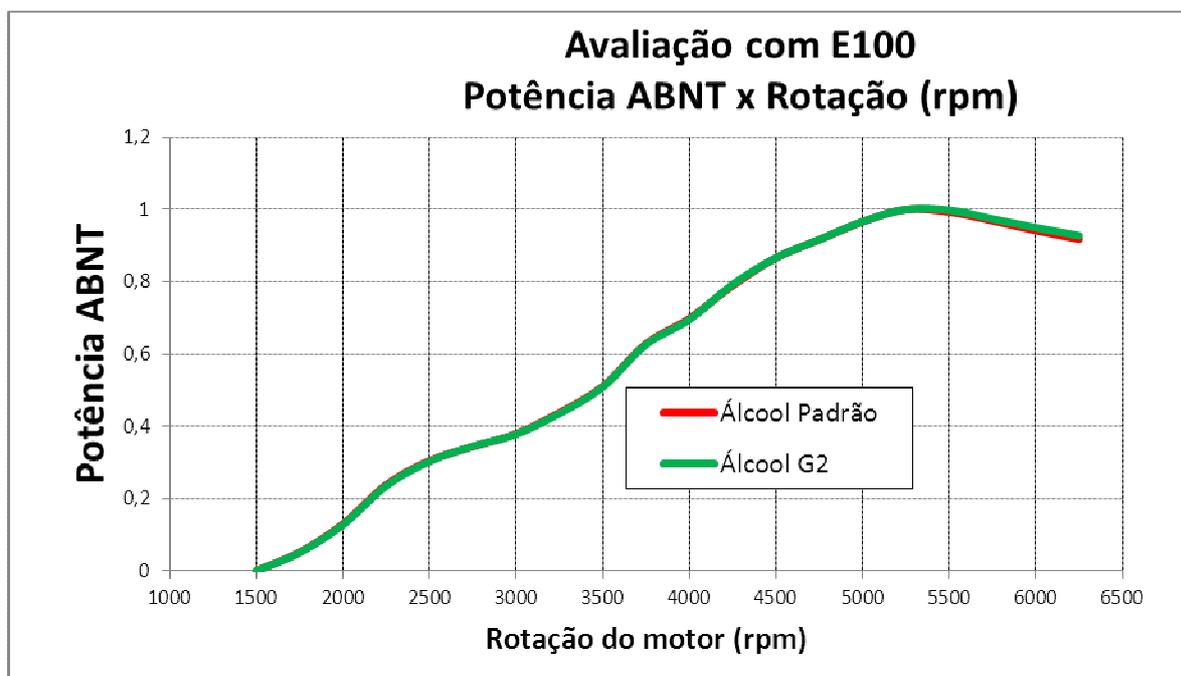


Figura 10 – Diferenças entre os resultados de potência com o etanol 2G e padrão

Segundo o fabricante, “todos os comparativos de torque e potência mantiveram variação inferior a 2.5 % em relação aos valores nominais, o que atesta a transparência do alcool G2 quanto ao quesito desempenho”.

## **5. TESTE DE CAMPO – METODOLOGIA**

Para a verificação, em condições normais de utilização em campo, do comportamento de veículos utilizando o etanol 2G em condições variadas de clima (temperatura e umidade do ar), altitudes, poluentes atmosféricos e tráfego (urbano e rodoviário), estará sendo realizado um teste de campo com observação direta dos pilotos quanto à dirigibilidade, da medição de consumo de combustível ao longo da rodagem e da análise das ocorrências registradas num diário de bordo.

Este trabalho de pesquisa contempla as etapas de planejamento operacional, coleta de dados, estudo da logística de operação, acompanhamento da realização de campo, tratamento e catalogação das informações, além da análise dos resultados obtidos e elaboração do relatório final.

Para tanto, conta com os seguintes mecanismos de acompanhamento:

- Monitoramento - a frota estará sendo permanentemente acompanhada através de instrumentação embarcada (rastreador) com visualização de imagem via internet, controle de variáveis pré-definidas, emissão de diário de bordo para cada veículo, comunicação via rádio/telefone e verificação presencial em alguns pontos do roteiro, principalmente nas capitais;
- Registros - estará sendo formado um banco de dados com informações de ocorrências e valores das variáveis de controle;
- Boletins - emissão periódica de boletim informativo do andamento da execução;
- Relatórios - elaboração de relatórios de acompanhamento e relatórios técnicos;
- Reuniões - reuniões periódicas de coordenação/avaliação da execução.

Estão sendo utilizados, no projeto, 06 veículos com motores flex, sendo 03 da Fiat e 03 da Peugeot, todos utilizando o Etanol 2G, proveniente de uma batelada produzida especificamente para este projeto.

Os seis veículos foram amaciados e fizeram medições iniciais de emissão de poluentes, consumo de combustível e desempenho em pista; estas medições serão repetidas ao final da rodagem, para verificação do nível de deterioração das variáveis de controle, a fim de uma avaliação comparativa, pelos fabricantes, da utilização deste produto em relação à experiência adquirida com o uso de etanol convencional.

Todos os veículos rodarão em comboio e percorrerão cerca de 20.000 km por várias cidades do Brasil, seguindo uma rota pré-estabelecida que passe por todas as capitais com acesso rodoviário adequado. A posição de cada veículo no comboio estará sendo alternada, bem como os pilotos alocados para cada veículo, de modo a evitar posições privilegiadas (sempre o primeiro da fila, por exemplo) e vícios de condução decorrentes de estilos diversos de pilotagem.

Cada veículo possui um diário de bordo no qual constarão registros de abastecimento, manutenção, valores das variáveis que estão sendo controladas e ocorrências programadas ou não, durante as viagens.

Estarão sendo realizadas as manutenções periódicas programadas e controle de componentes durante o cumprimento do plano de rodagem.

Os veículos serão abastecidos através de bases da Petrobras Distribuidora, previamente definidas, distribuídas ao longo do roteiro a ser cumprido pela frota. Para tanto, foi montada uma logística de abastecimento que considera a autonomia dos veículos e, quando necessário, a utilização de veículos de apoio para abastecimento ao longo do trajeto, em postos da mesma distribuidora.

Ao final da rodagem e após os ensaios de emissão de poluentes, consumo de combustível e retomada de velocidade em pista, os motores serão desmontados pelos fabricantes e avaliados os depósitos e desgastes apresentados, para uma comparação contra o banco de dados com o uso do etanol 1G.

## **6. CONCLUSÕES**

Os resultados parciais dos ensaios de durabilidade em banco de provas de motores sugerem que o etanol 2G hidratado apresenta desempenho de uso satisfatório, compatível com o desempenho observado para o etanol 1G hidratado comercial utilizado como referência. Esta observação, no entanto, somente será confirmada integralmente após a análise dimensional dos componentes dos motores.

Quanto à medição inicial de emissão de poluentes, não houve diferenças estatisticamente significativas entre as emissões de NMHC, CO, NO<sub>x</sub>, RCHO e ETH utilizando etanol 2G e 1G, em três veículos de teste. A única exceção ocorreu com as emissões de CO<sub>2</sub> com os veículos 1 e 2, mas em um percentual pequeno, 2%, o qual tem a mesma magnitude da incerteza de medição do ensaio.

Conforme esperado, não houve diferenças entre o consumo com etanol 2G e 1G, com exceção dos valores urbanos para os veículos 1 e 2, os quais apresentaram resultado 2% pior com etanol 2G. Contudo, este pequeno percentual é similar à incerteza do ensaio. A similaridade dos resultados pode ser explicada pelo fato dos dois combustíveis possuírem poder calorífico e massa específica semelhantes.

Também de acordo com os resultados esperados, não houve diferenças que poderiam ser percebidas pelo consumidor entre os tempos obtidos em retomadas de velocidades com etanol 2G e 1G. Isso ocorreu porque a octanagem e o poder calorífico dos combustíveis são semelhantes.

Por este conjunto de medições feitas até o momento, o etanol 2G pode ser considerado como adequado ao uso veicular. Ainda falta a conclusão do teste de campo, os ensaios finais de emissões de poluentes, consumo de combustível, retomada de velocidades em pista e a avaliação dos depósitos e desgastes dos motores, para a análise ser conclusiva e ocorrer a introdução do etanol 2G na mobilidade brasileira.

## **7. AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Grupo PSA (Grupo Peugeot-Citroën) pela disponibilidade da metodologia referente ao ensaio de durabilidade em banco de provas, pela cessão de dois motores para a realização destes testes e de três veículos para a realização do teste de campo, e à Fiat pela disponibilização de três veículos para completar a frota do teste de campo, bem como pela realização inicial e final dos ensaios de medição das emissões de poluentes, consumo de combustível e retomada de velocidade.

Ambas as empresas também ficaram responsáveis pela realização das manutenções preventivas e corretivas realizadas durante todo o teste de campo, inclusive quanto à mão de obra e materiais necessários, além das avaliações dimensionais de seus respectivos motores após os ensaios de durabilidade e do teste de campo.

## **8. REFERÊNCIAS**

- [1] ABNT NBR ISO 1585, 1996, Veículos rodoviários - Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva.
- [2] ABNT NBR 6601, 2012, Veículos rodoviários automotores leves – Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.
- [3] ABNT NBR 12026, 2009. Veículos rodoviários automotores leves - Determinação de aldeídos e cetonas contidos no gás de escapamento, por cromatografia líquida - Método DNPH, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.
- [4] ABNT NBR 15598, 2008, Veículos rodoviários automotores leves - Determinação de etanol não queimado contido no gás de escapamento, por cromatografia gasosa - Método de ensaio, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.
- [5] ABNT NBR 7024, 2010, Veículos rodoviários automotores leves – Medição do consumo de combustível – Método de ensaio, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.
- [6] SAE J1491, 2006, “Vehicle Acceleration Measurement”, Society of Automotive Engineers Recommended Practice.