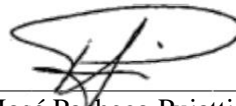


RELATÓRIO DE ENSAIO

AVALIAÇÃO DA ADOÇÃO DO CATALISADOR GREEN PLUS NO DESEMPENHO, CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E EMISSÕES DE POLUENTES DE UM MOTOR DIESEL EM DINAMÔMETRO DE BANCADA



José Guilherme Coelho Baêta, Dr.
Departamento de Engenharia Mecânica – UFMG
Coordenador do Centro de Tecnologia da Mobilidade – CTM



Fabrício José Pacheco Pujatti, Dr.
Departamento de Engenharia Mecânica – UFMG
Pesquisador do Centro de Tecnologia da Mobilidade – CTM

Belo Horizonte, novembro de 2020

1 - INTRODUÇÃO

Este relatório de ensaio apresenta os resultados da avaliação da adoção do catalisador *Green Plus* no desempenho, consumo de combustível e emissões de poluentes de um motor diesel em bancada dinamométrica realizada pela equipe técnica do CTM/UFMG para a empresa Horeb Brasil (CNPJ 35.064.391/0001-92), mediante solicitação de prestação de serviços. A metodologia utilizada e os resultados obtidos durante a avaliação experimental são descritos neste documento. Inicialmente, o motor de ignição por compressão original utilizado nos testes foi caracterizado de acordo com a Fase III da Norma ABNT NBR 16721 de 2018, abastecido com diesel comum (S500) adquirido na região metropolitana de Belo Horizonte/MG. Posteriormente, o combustível utilizado nos testes foi catalisado com a adição do *Green Plus*, fornecido pela contratante e na concentração de cinquenta partes por milhão (50 PPM), sendo essa a única modificação realizada durante todo o ensaio apresentado. Na sequência, o motor utilizado nos testes foi condicionado durante 120 horas de ensaio dinamométrico, de acordo com um ciclo misto de utilização com rotação e carga variáveis. A cada 20 horas de ensaio, os dados de desempenho e consumo de combustível em plena carga foram medidos e armazenados. Concluídas as 120 horas de condicionamento, o motor passou por uma nova etapa de caracterização de acordo com a Fase III da Norma ABNT NBR 16721 de 2018. Desta forma, foi possível fazer uma análise comparativa acerca da influência do referido catalisador na operação do motor em estudo, bem como uma verificação da influência do uso contínuo do *Green Plus*. O detalhamento dos procedimentos e os resultados obtidos em cada etapa estão descritos neste trabalho.

2 – METODOLOGIA

A metodologia experimental foi executada nas dependências do Centro de Tecnologia da Mobilidade – CTM/UFMG. Suas etapas são detalhadas, na sequência do texto, de acordo com a sequência cronológica de sua realização. As atividades foram iniciadas com a seleção do objeto de prova, sendo escolhido o motor NEF 4, fabricado pela IVECO, 4,5 litros, 4 cilindros, 4 tempos, sobrealimentado (turbocompressor) com injeção direta de diesel, com uso de sistema de injeção mecânico Delphi, aplicado em retroescavadeiras modelo B95B da New Holland. De acordo com o fabricante, este motor desenvolve uma potência líquida 75,3 kW a 2200 rpm e um torque líquido de 398 N.m a 1400 rpm (SAEJ1995). Este motor foi disponibilizado pelo laboratório de ensaios de motores do CTM/UFMG, assim como todos os acessórios necessários à sua operação.

Na sequência, realizou-se a preparação da sala de ensaios onde foi feita a adequação do sistema de alimentação de combustível (introdução de linhas de polipropileno e tambor metálico de tampa fixa com duas bocas, com 50 litros de capacidade volumétrica e pintura interna em epoxi) para armazenamento e condução do diesel ao qual foi adicionado o catalisador *Green Plus*. Esta intervenção foi necessária para atender à recomendação da Horeb Brasil de que o produto testado não deveria permanecer em contato com componentes fabricados em aço inoxidável.

Posteriormente às modificações na sala de ensaios foi realizada a instalação do motor no dinamômetro de bancada do laboratório CTM/UFMG. Nesta etapa, além da montagem dos componentes mecânicos, foi instalada toda a instrumentação necessária na sala de provas para a realização dos testes, em conformidade com os requisitos das Normas ABNT NBR 17621:2018 e ABNT NBR ISO 1585:1996.

A primeira fase dos testes consistiu em caracterizar o motor em sua configuração original e utilizando o diesel comum (S500) sem a adição de *Green Plus* como combustível. O objetivo foi criar uma referência do comportamento do motor (*baseline*) utilizada de forma comparativa em todos os testes. Nesta fase o motor passou por um ciclo de amaciamento e rotação recomendado pelo fabricante, visando garantir o desempenho declarado. As condições testadas foram:

Rotação: 850 rpm (marcha lenta), 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm, 2200 rpm.

Torque: 100% (plena carga), 75%, 50% e 25% do torque máximo.

Em todos os pontos de operação acima expostos foram obtidos os dados de potência, torque e consumo de combustível. Já as emissões de poluentes dos gases de exaustão foram medidas em pontos específicos e mais relevantes em ciclos de condução veiculares, sendo eles: 850 rpm (marcha lenta), 1400 rpm (rotação de torque máximo), 2200 rpm (rotação de potência máxima), em condições estabilizadas de operação.

Após a realização da primeira fase de testes, o catalisador *Green Plus* fornecido pela contratante foi adicionado ao diesel comum (S500) na concentração de cinquenta partes por milhão (50 PPM), sem alterações físicas em nenhum componente do motor utilizado. De acordo com a recomendação da Horeb Brasil, a equipe técnica do CTM realizou o condicionamento do motor, utilizando o diesel comum (S500) catalisado com a adição do *Green Plus* durante 120 horas de teste. Foi realizada a programação de um ciclo automático

no *software* do dinamômetro, estabelecendo pontos de operação dinâmicos para o motor com o intuito de submetê-lo a condições de carga e rotação mistas, referentes à ciclos de condução veiculares urbanos e rodoviários. Esta etapa foi fundamental para garantir a representatividade da metodologia de testes adotada para o motor que, por si próprio, permite uma flexibilidade de aplicações, como o transporte público (ônibus, vans) e de carga (caminhões, picapes, veículos fora de estrada). As Figuras 1 e 2 apresentam as configurações do ciclo programado pela equipe técnica do CTM/UFMG.

Step Name		Step Time	Engine DynoEngine/Dyno Control						
Step Number	name	[s]	Command	Throttle Demand [%]	Throttle Ramp Time...	Speed Demand [r...	Speed Ramp Time [s]	Torque Demand [N...	Torque Ramp Time...
1	Idle1	180	Mode Idle						
2	WOT2	60	Mode Thro...	100	5	1200	10		
3	WOT3	120	Mode Thro...	100	0	1400	5		
4	Pload4	300	Mode Torq...			1400	5	290	5
5	Pload5	300	Mode Torq...			1400	5	200	5
6	Pload6	60	Mode Torq...			1600	5	285	5
7	Pload7	60	Mode Torq...			1800	5	275	5
8	WOT8	60	Mode Thro...	100	5	2000	10		
9	WOT9	180	Mode Thro...	100	5	2200	5		
10	Pload10	180	Mode Torq...			2200	5	220	5
11	Pload11	120	Mode Torq...			2000	5	170	5
12	Pload12	120	Mode Torq...			1800	5	180	5
13	Pload13	60	Mode Torq...			1600	5	190	5
14	Pload14	300	Mode Torq...			1400	5	190	5
15	Pload15	240	Mode Torq...			1400	5	100	5
16	Pload16	300	Mode Torq...			1400	5	190	5
17	Pload17	120	Mode Torq...			1400	5	300	5
18	WOT18	120	Mode Thro...	100	5	1400	10		
19	Pload19	120	Mode Torq...			1400	5	300	5
20	Pload20	60	Mode Torq...			1400	5	190	5
21	Pload21	60	Mode Torq...			1200	5	190	5
22	Pload22	420	Mode Torq...			1200	5	100	5
23	Idle23	120	Mode Idle						
24	Done								

Figura 1. Programação do ciclo automático de condicionamento do motor em dinamômetro de bancada.



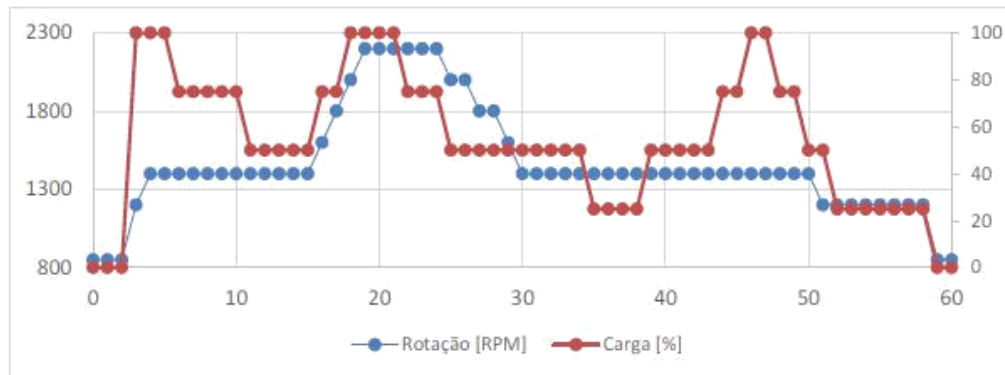


Figura 2. Pontos de operação do motor em ciclo misto.

A cada 20 horas de operação no ciclo, aferia-se a curva de desempenho em plena carga, com a aquisição de dados relativos à potência, torque, consumo específico de combustível (em todos os pontos de operação) e emissões de poluentes (em marcha lenta, 1400 rpm e 2200 rpm). Assim, foram levantadas as curvas características com o motor utilizando o diesel comum (*baseline*) e com o diesel comum catalisado com o *Green Plus* após 20, 40, 60, 80, 100 e 120 horas de testes, com o objetivo de verificar a evolução do processo de condicionamento de combustível proporcionado pelo catalisador em estudo. Com 120 horas de ciclo transcorridas, foram levantadas as curvas de desempenho finais, de forma análoga à realizada na caracterização inicial do motor original (agora com a adição do *Green Plus*), conforme as condições exibidas a seguir:

Rotação: marcha lenta, 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm, 2200 rpm.

Torque: 100% (torque máximo, ou plena carga), 75%, 50% e 25% do torque máximo.

Novamente, foram medidas as emissões de poluentes na rotação de marcha lenta, 1400 rpm (torque máximo) e 2200 rpm (potência máxima). Um histórico dos testes de condicionamento do motor pode ser visto na Tabela 1. Finalizadas as provas experimentais, foi feito o tratamento dos dados adquiridos em todos os testes, fato que possibilitou a posterior elaboração dos gráficos e resultados, exibidos na sequência do documento.

Tabela 1. Sequência adotada para o condicionamento do motor em 120 horas de testes.

Condicionamento motor NEF 4				
Dia	H.inicial	H. final	N. ciclos completos	Horas rodadas
29/07/2020	508.2	517.8	8	9.6
30/07/2020	518.1	528.6	10	10.5
31/07/2020	528.8	541.8	10	13.0
08/08/2020	543.2	553.3	9	10.1
09/08/2020	553.5	563.1	8	9.6
10/08/2020	563.1	573.1	8	10.0
11/08/2020	573.1	586.7	11	13.6
12/08/2020	586.8	590.4	3	3.6
13/08/2020	590.4	594.7	2	4.3
09/10/2020	596.3	599.8	3	3.5
13/10/2020	600	608.5	8	8.5
14/10/2020	608.5	614.1	5	5.6
15/10/2020	614.1	627.0	9	12.9
16/10/2020	627	633.9	0	6.9
		TOTAL	94	121.7

3- RESULTADOS

A Figura 3 exibe as curvas de potência corrigida em função da rotação para os testes que englobam desde o motor utilizando o diesel comum (*Baseline*) até os ensaios finais do motor utilizando o diesel comum catalisado com *Green Plus (GP)*. Já a Figura 4 apresenta o comportamento do consumo específico de combustível em função da rotação do motor para os testes que englobam desde o abastecimento com o diesel comum (*baseline*) até os ensaios finais do motor com diesel comum catalisado (*GP*).

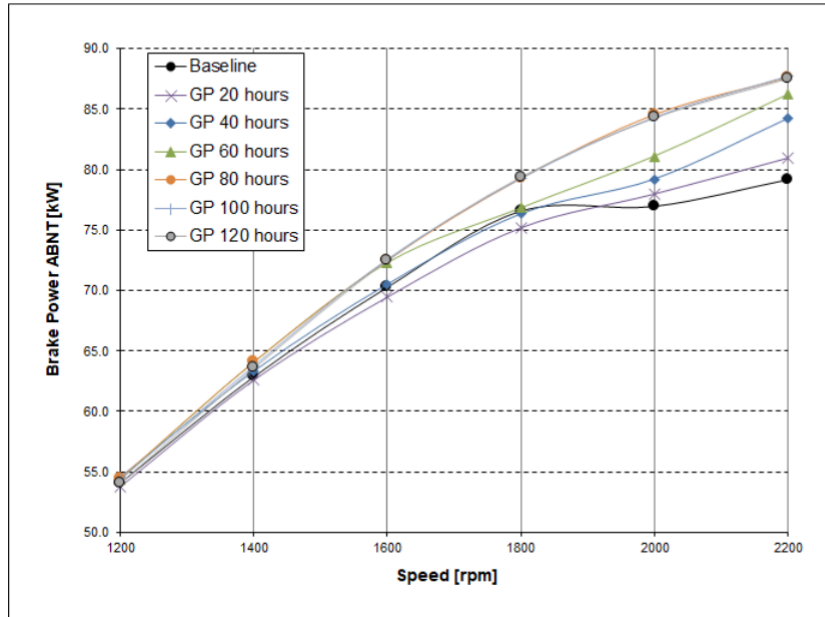


Figura 3. Comportamento da potência do motor corrigida em função da rotação em plena carga durante as 120 horas de teste com o catalisador *Green Plus*.

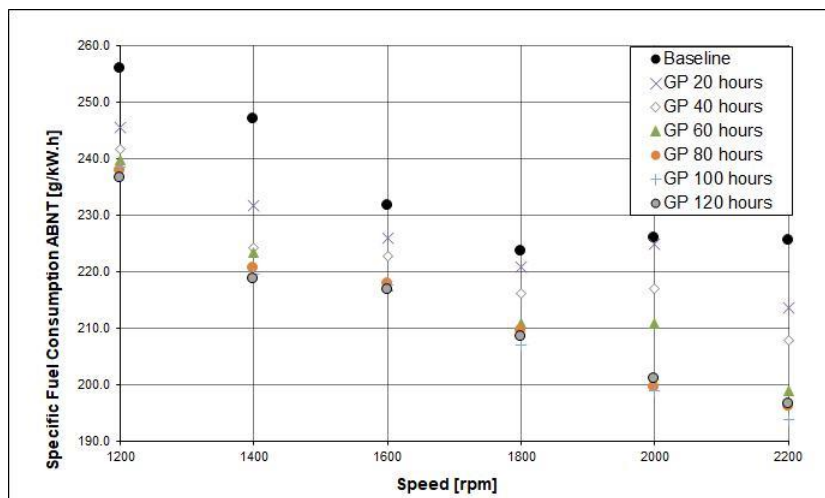


Figura 4. Comportamento do consumo específico de combustível do motor em função da rotação, em plena carga, durante as 120 horas de teste com o *Green Plus*.

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam os resultados obtidos para a potência corrigida, consumo específico de combustível e eficiência de conversão de combustível em função da rotação para os testes em plena carga com o motor abastecido com diesel comum (*baseline*) e com diesel comum catalisado após 120 horas de operação (*GP 120 hours*). São representadas as diferenças percentuais obtidas em cada parâmetro medido em relação ao valor de referência.



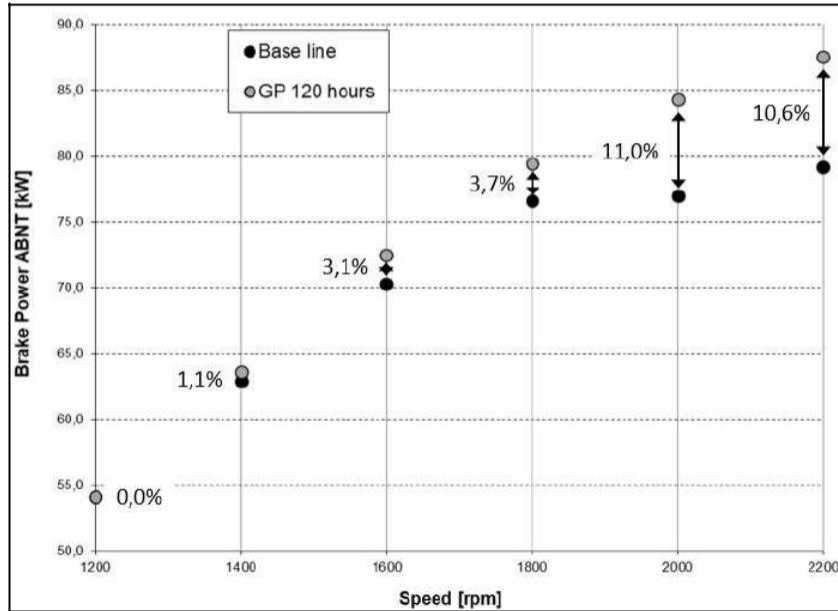


Figura 5. Comparação entre a potência corrigida produzida pelo motor em função da Rotação, em plena carga, durante as 120 horas de teste com o *Green Plus*.

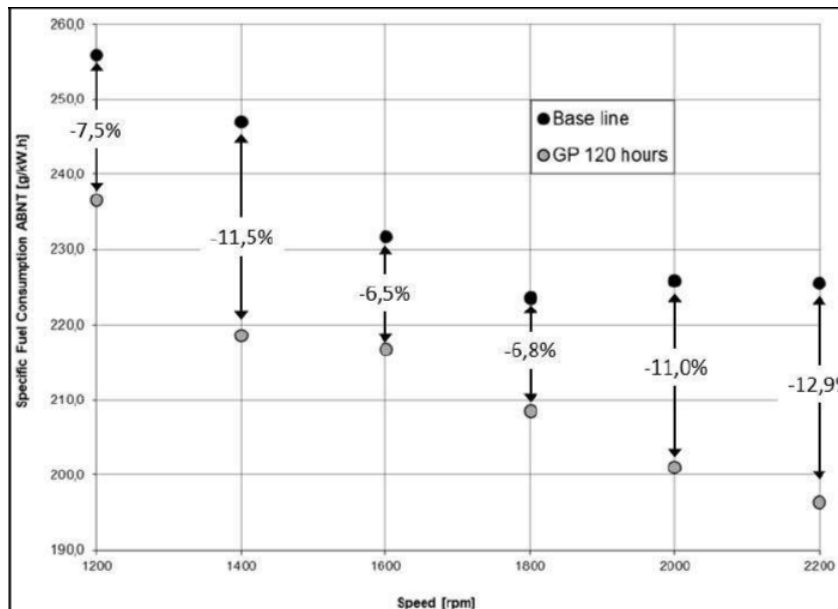


Figura 6. Comparação entre o consumo específico de combustível do motor em função da rotação e em plena carga durante as 120 horas de teste com o *Green Plus*.

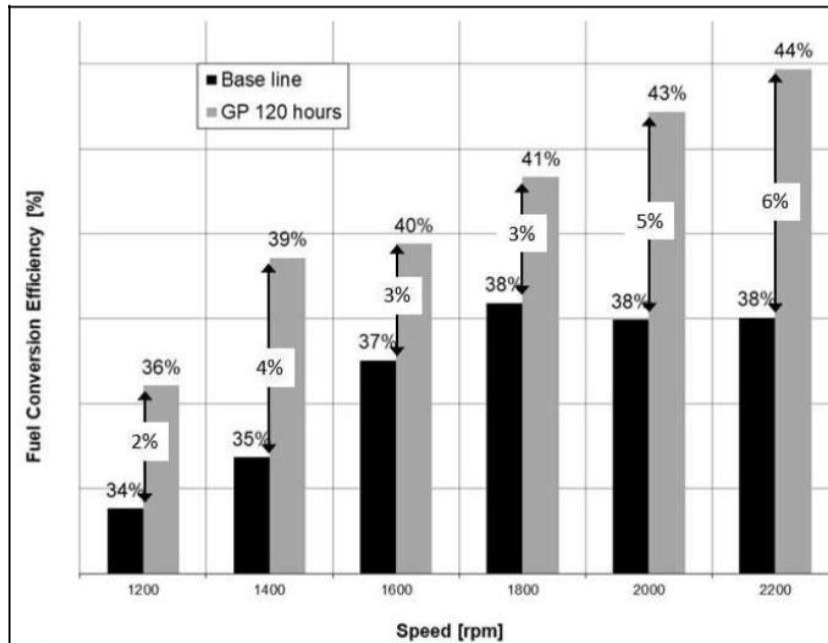


Figura 7. Comparação da eficiência de conversão de combustível do motor em função da rotação, em plena carga, durante as 120 horas de teste com o *Green Plus*.

Em relação às emissões de poluentes pela exaustão, a verificação e o tratamento dos dados apurados ficou sob a responsabilidade da Horeb Brasil, conforme acordo entre as instituições contratante e executora do projeto.

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia de ensaios e os resultados apresentados neste relatório permitem observar que a adição do catalisador *Green Plus* ao motor diesel NEF4, após 120 horas de condicionamento e operação em dinamômetro de bancada, proporcionou melhorias de desempenho com até 10,6% de aumento na potência desenvolvida pelo motor e redução no consumo específico de combustível de até 12,9%.