

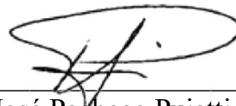
## RELATÓRIO DE ENSAIO

### AVALIAÇÃO DA ADOÇÃO DO CATALISADOR *GREEN PLUS* NO DESEMPENHO E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UM MOTOR FLEX-FUEL ABASTECIDO COM GASOLINA COMUM 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, março de 2021**

## 1 - INTRODUÇÃO

Este relatório de ensaio apresenta os resultados da avaliação da adoção do catalisador *Green Plus* no desempenho e consumo de combustível de um motor *flex-fuel* em bancada dinâmométrica realizada pela equipe técnica do CTM/UFMG para a empresa Horeb Mercosul mediante solicitação de prestação de serviços. Neste relatório está apresentada a metodologia utilizada e os resultados obtidos durante esta avaliação. Inicialmente, o motor de ignição por centelha utilizado nos testes foi caracterizado de acordo com a Norma ABNT NBR ISO 1585 de 1996, abastecido com gasolina comum (E27) fornecida pela contratante. Posteriormente, o combustível utilizado nos testes foi catalisado com a adição do *Green Plus* na concentração de 50 PPM, conforme a recomendação do fabricante do produto (Horeb Brasil), sendo esta a única modificação realizada durante todo o ensaio apresentado neste relatório. Em seguida, o motor utilizado nos testes foi condicionado durante 120 horas de ensaio dinâmométrico, de acordo com um ciclo misto de utilização com rotação e carga variáveis. Durante estas 120 horas de condicionamento os dados de desempenho e consumo de combustível em plena carga foram monitorados, sendo que estes parâmetros foram medidos e armazenados a cada 20 horas de ensaio. Finalizado o período de condicionamento, o motor passou por uma nova etapa de caracterização de acordo com a Norma ABNT NBR ISO 1585 de 1996. 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 mediante o uso contínuo do *Green Plus* no referido motor.

## 2 – METODOLOGIA

A metodologia experimental foi executada nas dependências do Centro de Tecnologia da Mobilidade – CTM/UFMG. Suas etapas estão detalhadas, na sequência do texto, de acordo com a sequência cronológica de realização. As atividades foram iniciadas com a seleção do objeto de prova, sendo escolhido o motor Sigma, fabricado pela Ford, 1,596 litros, 4 cilindros, 4 tempos, naturalmente aspirado, com injeção indireta de combustível multiponto (PFI), ignição estática com centelha perdida, controlado eletronicamente por sistema de gerenciamento eletrônico reprogramável MoTeC M800. De acordo com a fabricante, este motor desenvolve uma potência líquida ABNT 110 cv a 6250 rpm (gasolina) e 115 cv a 5500 rpm (etanol) e um torque líquido ABNT de 15,8 kgf.m a 4250 rpm (gasolina) e 16,2 kgf.m a 4250 rpm (etanol). Este motor foi disponibilizado pela equipe técnica do CTM/UFMG, assim como todos os acessórios necessários à sua operação.



Na sequência, foi realizada a preparação e modificação da sala de ensaios onde realizou-se a adequação do sistema de alimentação de combustível (introdução linhas de polipropileno) para armazenamento e condução das amostras de gasolina comum e gasolina catalisada com o *Green Plus*. Esta intervenção foi necessária para atender à recomendação da Horeb Mercosul 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 de instalação, além da montagem dos componentes mecânicos, foi feita toda a instrumentação necessária na sala de provas, em conformidade com os requisitos das Normas ABNT NBR ISO 1585:1996, o que possibilitou a leitura das informações adquiridas durante os testes.

A primeira fase dos testes consistiu na verificação das estratégias de controle eletrônico do motor, uma vez que se adotou um sistema de gerenciamento eletrônico reprogramável (MoTeC M800). Na sequência, o motor passou por um ciclo de amaciamento e rotação recomendado pelo fabricante, visando garantir o pleno atingimento da sua condição de funcionamento e, na sequência, foi caracterizado em configuração original e utilizando gasolina comum (E27) como combustível sem a adição do *Green Plus*. O objetivo desta fase foi criar uma referência do comportamento do motor (*baseline*) utilizada de forma comparativa em todos os testes. As condições testadas foram:

- Rotação: de 1500 rpm à 5750 rpm, com incremento de 250 rpm.
- Carga: 100% (plena carga) e 50% do torque máximo (carga parcial).

Em todos os pontos de operação acima expostos houve a aferição de potência, torque e consumo de combustível. Já as emissões de poluentes foram medidas pela equipe da Horeb Brasil em condições específicas, sendo os dados obtidos tratados e avaliados pela referida empresa e em condições estabilizadas de operação (*steady state*). As condições nas quais as emissões de poluentes foram medidas foram:

- Rotação: 850 rpm (marcha lenta), 4250 rpm e 5500 rpm (100% e 50% de carga).

Após a caracterização da primeira fase, o motor em teste permaneceu com as mesmas características iniciais, porém passou a ser abastecido com gasolina comum agregada ao catalisador *Green Plus* (E27 GP).



Seguindo a recomendação da Horeb Mercosul, a equipe técnica do CTM realizou um condicionamento do motor, utilizando a gasolina comum agregada ao catalisador *Green Plus* (E27 GP) durante 120 horas de teste, de acordo com um ciclo automático de operação no *software* de controle do dinamômetro. Este ciclo simula, em diferentes pontos de rotação e carga, as situações de operação de um motor em ciclos de condução urbanos e rodoviários. O objetivo desta fase foi mensurar a influência do *Green Plus* mediante seu uso contínuo no referido motor.

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 e consumo de combustível nas condições de operação descritas anteriormente.

Assim, foram levantadas as curvas características com o motor utilizando gasolina comum (E27), bem como utilizando a gasolina comum agregada ao catalisador *Green Plus* após 20 horas (E27 GP 20h), 40 horas (E27 GP 40h), 60 horas (E27 GP 60h), 80 horas (E27 GP 80h), 100 horas (E27 GP 100h) e 120 horas (E27 GP 120h) 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 novamente as curvas de desempenho finais, de forma análoga à realizada na caracterização inicial do motor original (desta vez com a adição do catalisador *Green Plus*), conforme as condições exibidas a seguir:

- Rotação: de 1500 rpm à 5750 rpm, com incremento de 250 rpm.
- Carga: 100% (plena carga) e 50% do torque máximo (carga parcial).

Em todos os pontos de operação acima expostos houve novamente a aferição da potência, do torque e do consumo de combustível. Já as emissões de poluentes foram medidas novamente pela equipe da Horeb Brasil em condições específicas, sendo os dados obtidos tratados e avaliados pela referida empresa e em condições estabilizadas de operação (*steady state*). As condições nas quais as emissões de poluentes foram medidas foram:

- Rotação: 850 rpm (marcha lenta), 4250 rpm e 5500 rpm (100% e 50% de carga).

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, sendo estes apresentados a seguir.



### 3 – RESULTADOS

A Metodologia apresentada anteriormente detalhou as condições de ensaios com o motor em bancada, sendo a faixa de rotação compreendida entre 1500 rpm e 5750 rpm, com incremento de 250 rpm e nas condições de carga de 100% (plena carga) e 50% do torque máximo (carga parcial). A identificação das amostras, apresentadas nos resultados a seguir, foram baseadas nas definições descritas na Metodologia.

#### 3.1. Testes em Plena Carga (100%)

A Tabela 1 apresenta os valores de Potência Líquida Corrigida ABNT em função da rotação para os testes que englobam desde o motor abastecido com gasolina comum (*baseline*) até os ensaios finais do motor abastecido com a gasolina comum agregada ao catalisador *Green Plus*. Já a Figura 1 apresenta os respectivos dados de forma gráfica.

Tabela 1. Potência corrigida produzida pelo motor em função da rotação em plena carga, abastecido com gasolina comum (E27) durante as 120 horas de teste com o uso do catalisador *Green Plus* (E27 GP). Incerteza da Medição:  $\pm 0,5$  kW.

Rotação [rpm]	Potência Líquida ABNT [kW]						
	E27	E27 GP 20h	E27 GP 40h	E27 GP 60h	E27 GP 80h	E27 GP 100h	E27 GP 120h
1500	21,1	21,2	21,3	21,4	21,3	21,3	21,5
1750	24,8	24,8	24,9	25,0	24,9	24,9	25,2
2000	29,1	29,3	29,4	29,4	29,4	29,5	29,7
2250	33,5	33,8	34,0	34,1	34,0	34,2	34,3
2500	37,2	37,5	37,7	37,7	37,7	37,7	38,1
2750	42,2	43,0	43,1	43,2	43,2	43,6	43,6
3000	45,1	45,5	45,7	45,8	45,8	46,0	46,4
3250	49,1	49,8	50,1	50,2	50,3	50,8	50,6
3500	55,0	53,3	54,9	54,7	55,0	55,4	55,6
3750	57,6	58,3	58,5	58,6	58,7	59,0	59,0
4000	63,2	63,8	64,0	64,2	64,4	64,6	64,2
4250	69,2	68,8	68,5	68,7	69,0	69,0	69,9
4500	72,4	71,7	71,7	71,8	72,1	72,4	72,9
4750	76,3	76,2	76,3	76,2	76,6	76,9	77,3
5000	79,5	79,6	79,3	79,0	79,8	79,9	80,1
5250	82,3	81,4	81,4	81,2	81,5	81,5	82,3
5500	82,6	81,3	81,0	80,8	80,6	80,8	81,5
5750	80,8	81,3	81,6	81,3	81,5	80,7	81,0



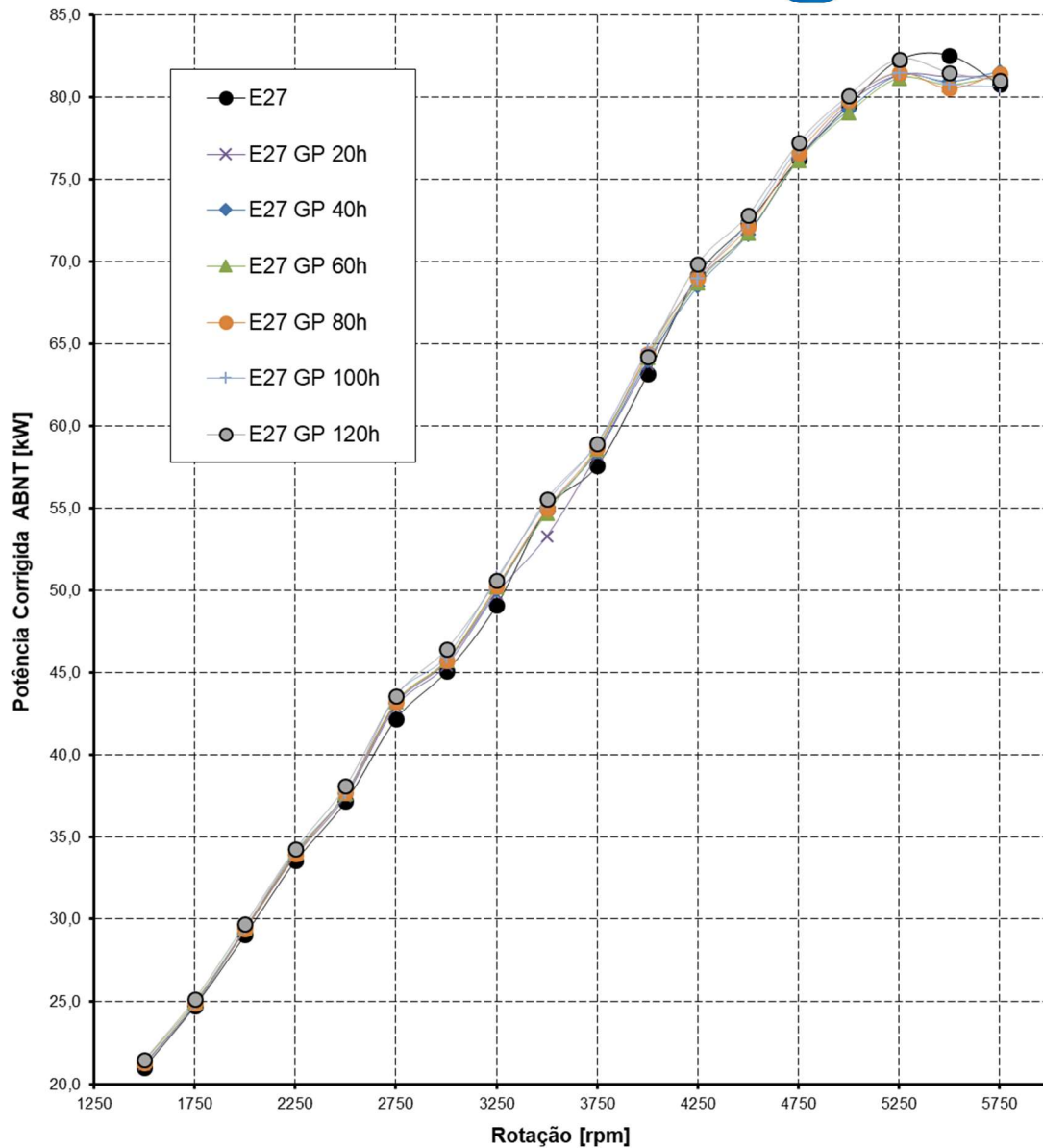


Figura 1. Potência corrigida produzida pelo motor em função da rotação em plena carga, abastecido com gasolina comum (E27) durante as 120 horas de teste com o uso do catalisador *Green Plus* (E27 GP). Incerteza da Medição:  $\pm 0,5$  kW.

A Tabela 2 apresenta os valores de consumo específico de combustível em função da rotação para os testes que englobam desde o motor abastecido com gasolina comum (*baseline*) até os ensaios finais do motor abastecido com gasolina comum agregada ao catalisador *Green Plus*, após 120 horas de operação. Já a Figura 2 apresenta os respectivos dados de forma gráfica.



Tabela 2. Valores de consumo específico de combustível em função da rotação em plena carga, obtidos ao longo do teste de 120 horas. Incerteza da Medição:  $\pm 1,50$  g/kW.h.

Rotação [rpm]	Consumo específico de combustível [g/kW.h]						
	E27	E27 GP 20h	E27 GP 40h	E27 GP 60h	E27 GP 80h	E27 GP 100h	E27 GP 120h
1500	260,68	256,24	257,40	254,66	259,50	259,50	257,55
1750	258,18	253,62	256,43	255,20	255,22	256,52	254,17
2000	249,57	243,35	246,26	246,26	248,98	248,56	243,18
2250	244,56	242,61	241,46	240,82	247,42	244,07	241,03
2500	243,88	241,27	243,37	243,04	245,03	244,23	240,09
2750	244,55	241,21	243,97	242,71	245,49	241,35	239,17
3000	253,33	243,78	246,99	245,85	243,06	246,52	236,05
3250	246,74	242,27	243,66	243,93	244,18	242,42	242,24
3500	248,32	255,02	247,41	250,23	250,50	250,50	248,97
3750	249,44	249,91	250,77	249,91	252,17	251,10	246,14
4000	248,89	249,06	250,70	250,23	248,87	249,30	247,82
4250	253,32	255,01	257,99	257,31	258,41	256,77	253,43
4500	253,14	259,20	255,86	255,57	255,51	257,28	253,26
4750	258,26	258,13	255,74	256,53	256,01	254,61	252,17
5000	262,39	263,34	268,01	268,22	265,85	265,74	262,95
5250	268,47	274,46	273,60	273,38	271,31	272,64	266,82
5500	288,85	301,05	303,90	305,47	308,09	303,23	297,51
5750	310,07	320,70	316,99	318,25	320,36	321,72	317,12

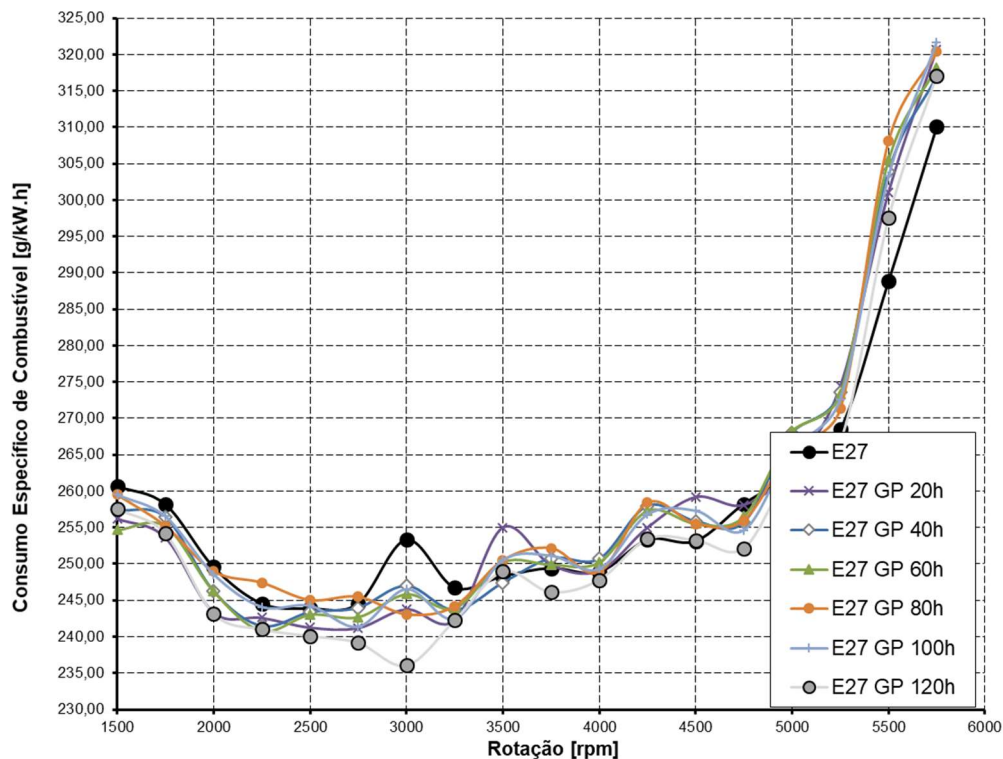


Figura 2. Consumo específico de combustível do motor em função da rotação, em plena carga, abastecido com gasolina comum (E27) durante as 120 horas de teste com o uso do catalisador *Green Plus* (E27 GP).

As Figuras 3, 4 e 5 apresentam, de forma comparativa, os resultados obtidos para a potência corrigida, torque corrigido e consumo específico de combustível em função da rotação para os testes em plena carga com o motor abastecido com gasolina comum (E27) e com a gasolina acrescida do catalisador Green Plus após 120 horas de operação (E27 GP 120h). Nessas figuras estão representadas as diferenças percentuais obtidas em cada parâmetro medido, sempre em relação ao valor de referência (*baseline*).

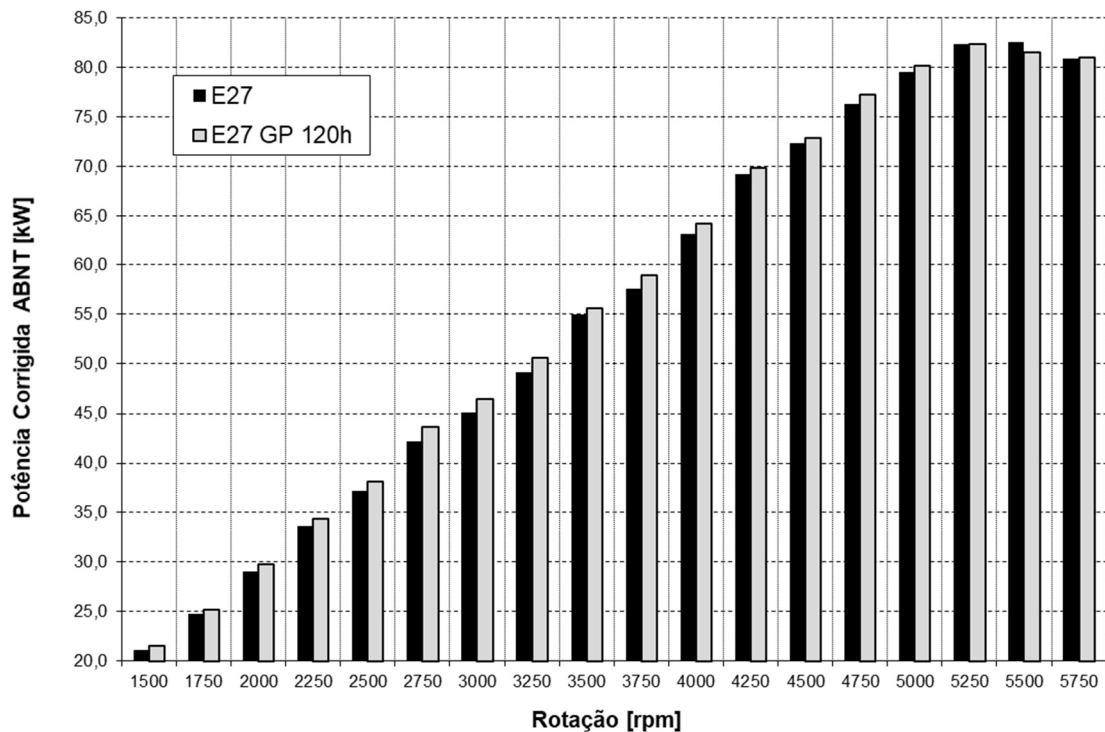


Figura 3. Comparativo entre a potência corrigida produzida pelo motor em função da rotação, em plena carga, abastecido com gasolina comum (E27) e após 120 horas de teste com gasolina agregada ao catalisador *Green Plus* (E27 GP 120h).





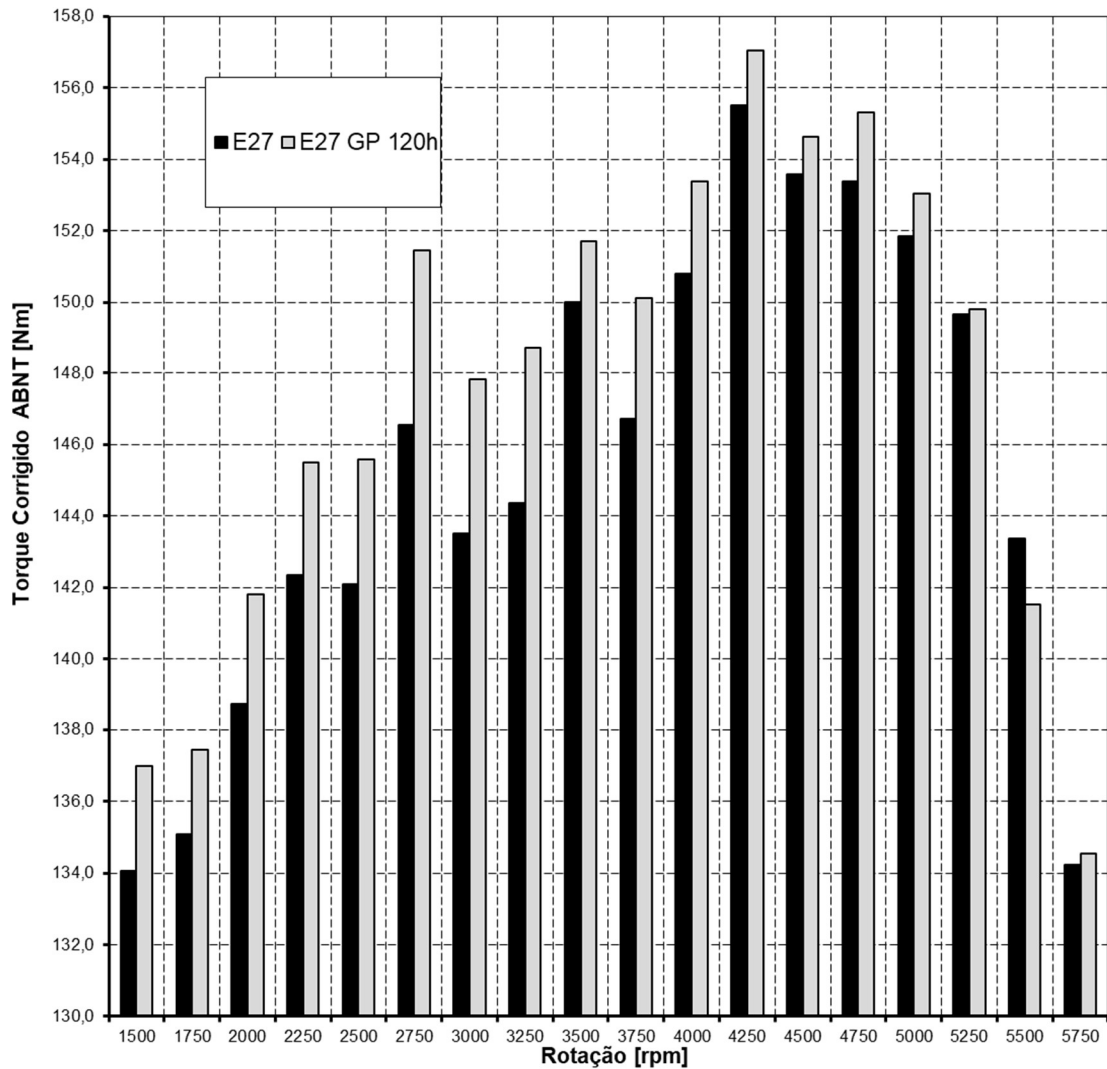


Figura 4. Comparativo entre o torque corrigido produzido pelo motor em função da rotação, em plena carga, abastecido com gasolina comum (E27) e após 120 horas de teste com gasolina agregada ao catalisador *Green Plus* (E27 GP 120h).



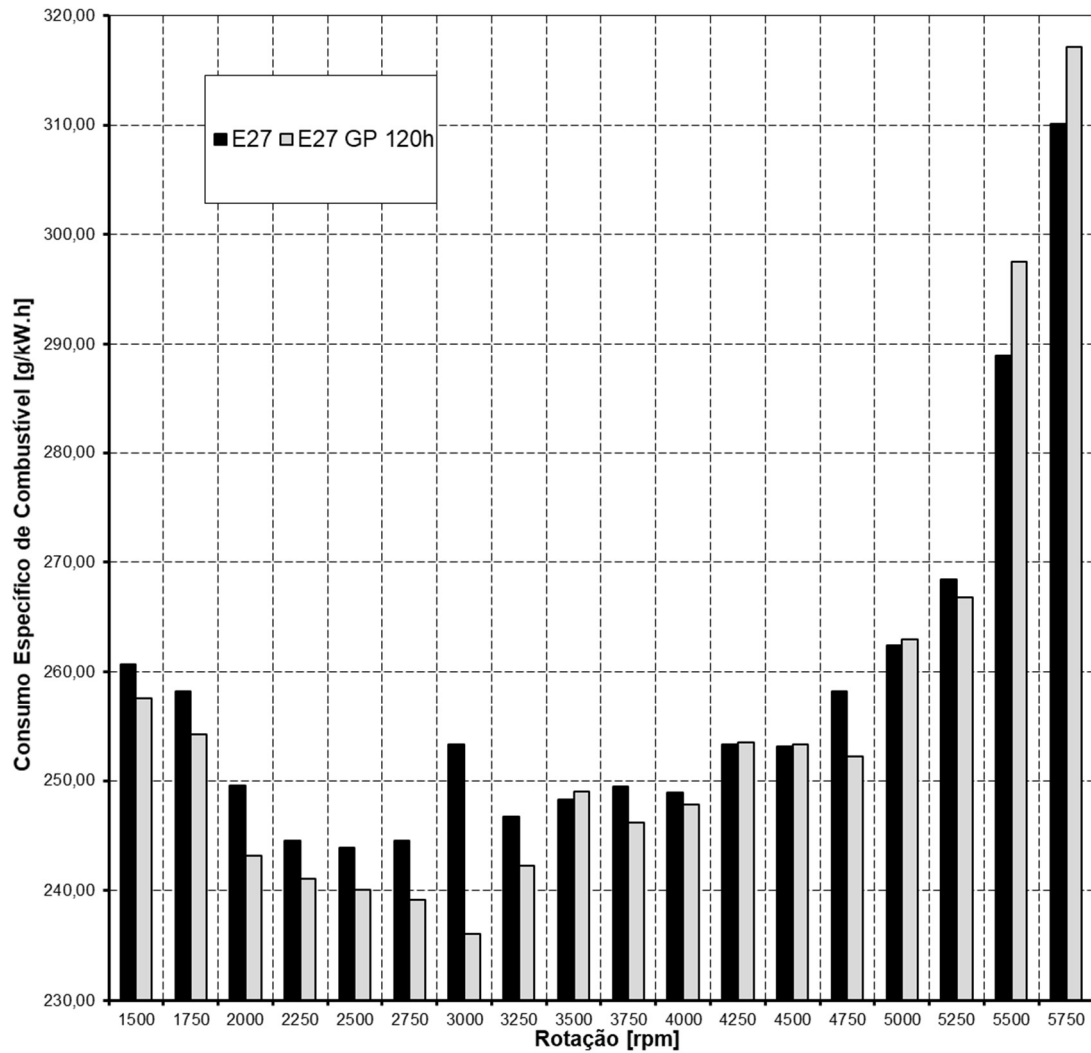


Figura 5. Comparativo entre o consumo específico de combustível do motor em função da rotação, em plena carga, abastecido com gasolina comum (E27) e após 120 horas de teste com gasolina agregada ao catalisador *Green Plus* (E27 GP 120h).



### 3.2. Testes em Carga Parcial (50%)

Os testes em cargas parciais foram realizados a partir dos dados obtidos em plena carga, configurando a abertura da válvula borboleta na posição mínima suficiente para produzir o Torque equivalente à 50% do torque nominal. A Tabela 3 apresenta os valores de Torque em função da rotação utilizados para os testes em cargas parciais, medidos com o motor abastecido com gasolina comum (*baseline*) e nos ensaios finais, após 120 horas rodadas com o motor abastecido com a gasolina comum agregada ao catalisador *Green Plus*.

Tabela 3. Torque em carga parcial utilizado nos testes em função da rotação em plena carga, abastecido com gasolina comum (E27) e após as 120 horas de teste com o uso do catalisador *Green Plus* (E27 GP 120h). Incerteza da Medição:  $\pm 0,2\%$ .

Rotação [rpm]	Torque em cargas parciais [N.m]	
	E27	E27 GP 120h
1500	66,0	65,1
1750	66,9	68,5
2000	69,0	69,2
2250	70,0	72,3
2500	70,4	71,3
2750	72,6	74,6
3000	71,7	71,5
3250	71,8	72,8
3500	74,4	74,7
3750	72,6	73,4
4000	74,6	75,9
4250	76,9	77,8
4500	76,7	78,4
4750	75,4	77,0
5000	75,1	76,8
5250	74,4	74,8
5500	71,1	72,4
5750	67,4	67,8

A Tabela 4 apresenta os valores de consumo específico de combustível em função da rotação para os testes com o motor abastecido com gasolina comum (*baseline*) e os ensaios finais do motor abastecido com gasolina comum agregada ao catalisador *Green Plus*, após 120 horas de operação. Já a Figura 6 apresenta os respectivos dados de forma gráfica.



Tabela 4. Valores de consumo específico de combustível em função da rotação em cargas parciais, obtidos com a gasolina comum (E27) e após o teste de 120 horas. Incerteza da Medição:  $\pm 1,50$  g/kW.h.

Rotação [rpm]	Consumo específico de combustível em carga parcial [g/kW.h]	
	E27	E27 GP 120h
1500	262,86	251,71
1750	258,49	244,78
2000	253,54	241,09
2250	254,06	238,16
2500	254,16	238,61
2750	247,09	234,97
3000	251,16	239,38
3250	254,40	245,95
3500	255,90	246,02
3750	259,38	247,09
4000	259,48	250,20
4250	261,38	250,11
4500	261,06	252,25
4750	266,18	253,71
5000	269,75	255,10
5250	275,97	262,58
5500	289,76	270,73
5750	300,60	274,87

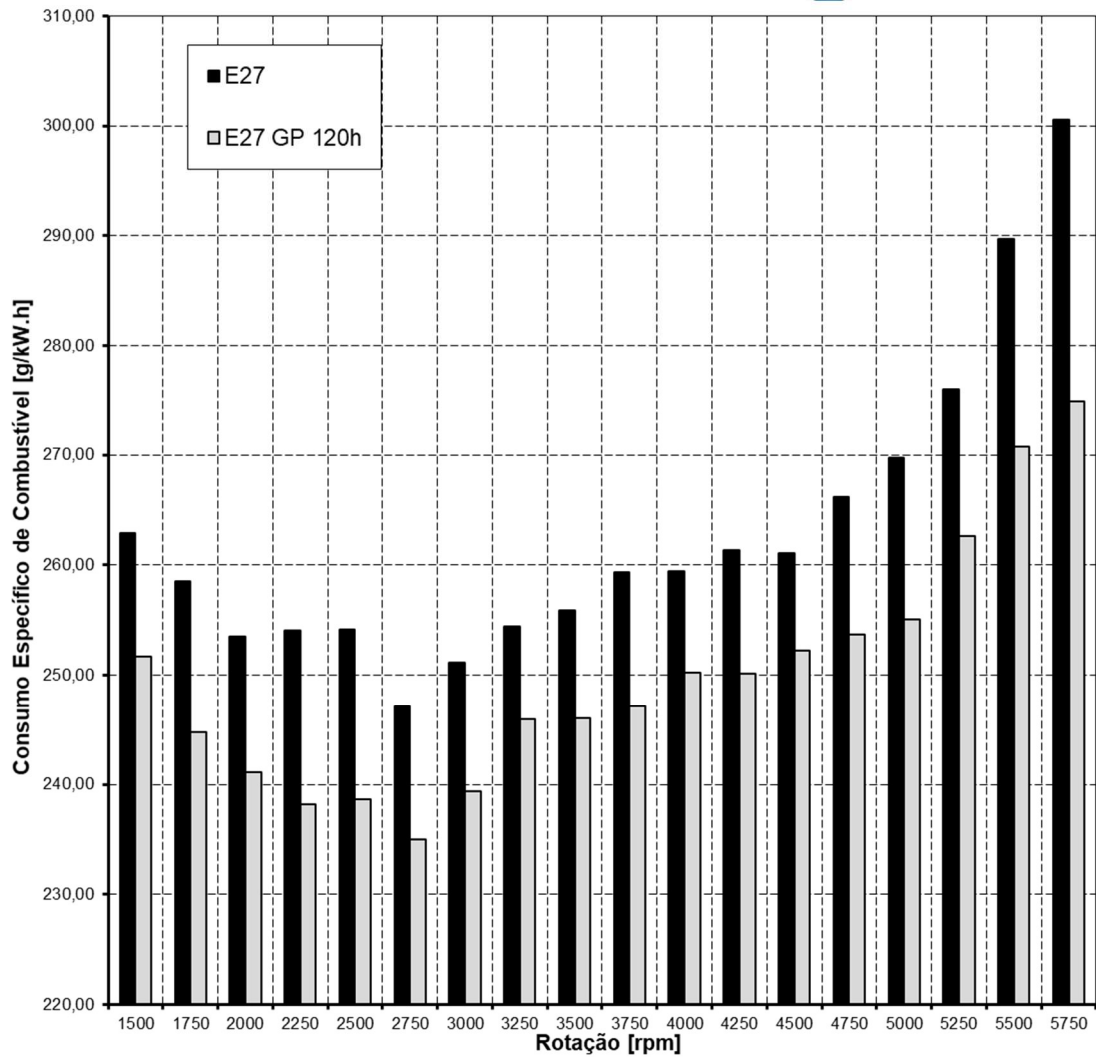


Figura 6. Consumo específico de combustível em função da rotação em cargas parciais, obtido com a gasolina comum (E27) e após o teste de 120 horas com o uso do catalisador *Green Plus* (E27 GP 120h).



#### 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório de ensaio apresentou os resultados da avaliação da adoção do catalisador *Green Plus* no desempenho e consumo de combustível de um motor de ignição por centelha abastecido com gasolina comum (E27), submetido a testes em dinamômetro de bancada. Os procedimentos experimentais foram realizados pela equipe técnica do CTM/UFMG para a empresa Horeb Mercosul mediante solicitação de prestação de serviços.

Neste relatório foi descrita a metodologia utilizada e os resultados obtidos durante esta avaliação. O combustível testado foi a gasolina comum adquirida na região metropolitana de Belo Horizonte/MG em sua condição original e catalisada 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 aqui apresentado.

A Metodologia apresentada detalhou as condições de ensaios com o motor em bancada, sendo a faixa de rotação compreendida entre 1500 rpm e 5750 rpm, com incremento de 250 rpm e nas condições de carga de 100% (plena carga) e 50% do torque máximo (carga parcial).

Nos ensaios em cargas parciais buscou-se avaliar o consumo de combustível em demandas de carga (torque) equivalentes em cada rotação testada. A diferença nos valores medidos nos ensaios em cargas parciais ocorreu devido à variação do Torque Máximo desenvolvido pelo motor quando alimentado com gasolina comum (E27) e com gasolina comum agregada ao catalisador *Green Plus* (E27 GP 120h).

As incertezas associadas a cada um dos parâmetros medidos foram apresentadas nas respectivas tabelas, bem como os resultados finais de cada um deles.

