

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA – UFJF
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA
LABORATÓRIO DE MOTORES – LMOT

Ana Luíza Leão

Felipe Torrão

Gabriel Nascif

MSc Matheus Antunes

Prof. Marco Alves – Gerente de Projeto

Prof. Cristiano Casagrande – Gestor Técnico

Ensaio com Etanol do Motor do Grupo Gerador HUSQVARNA G1300P

Ensaios "flex-fuel"


Juiz de Fora, 2022

Ana Luíza Leão

Felipe Torrão

Gabriel Nascif

MSc Matheus Antunes

DocuSigned by:

6FF0604EEA5948D...
Prof. Marco Alves – Gerente de Projeto

Prof. Cristiano Casagrande – Gestor Técnico

Ensaio com Etanol do Motor do Grupo Gerador HUSQVARNA G1300P

Ensaaios "flex-fuel"

Relatório apresentado como resultado do projeto Ensaio com Etanol do Motor do Grupo Gerador HUSQVARNA G1300P.
29 de julho de 2022.

Juiz de Fora, 2022

RESUMO

O Grupo Gerador Husqvarna G1300P, com potência máxima de 1.2kW, foi projetado para fornecimento de energia para casas, mercearias e escritórios. Em primeiro lugar foi montada as instalações para ensaios do Grupo Gerador e feito os devidos ajustes. Em seguida, a curva de desempenho com a Gasolina E27, que estabelece o consumo de combustível em função da potência fornecida pelo Gerador, foi levantada e outros parâmetros operacionais, tais como condições ambientes, temperaturas e nível de ruído foram medidos, de maneira a servirem de base de comparação para operação do Grupo Gerador com diferentes misturas de E27 com Etanol E100. As seguintes misturas “flex fuel” foram ensaiadas: (a) 90% de E27 com 10% de E100; (b) 80% de E27 com 20% de E100; (c) 60% de E27 com 40% de E100; e (d) 70% de E27 com 30% de E100. As curvas de consumo de combustível, em função da potência, fornecida pelo Gerador, foram levantadas para cada uma dessas misturas e, todas elas, demonstraram que o consumo mássico de combustível diminui, sobretudo nas potências médias e altas, à medida que o percentual de E100 aumenta, devido ao empobrecimento da relação ar-combustível apresentada na combustão. Porém, a operação do Grupo Gerador se mostrou instável com mistura “flex-fuel” (c), devido ao excessivo empobrecimento da mistura ar-combustível e, posteriormente, a operação com a mistura “flex-fuel” (d) também se mostrou instável. Portanto, as operações do Grupo Gerador com as misturas “flex fuel” (a) e (b) são recomendáveis, estáveis e mais econômicas, porém as operações com as misturas “flex-fuel” (c) e (d) não são recomendáveis devido à instabilidade na operação do Grupo Gerador. A operação com misturas pobres é mais econômica, porém o motor trabalha mais aquecido, o que pode afetar sua vida útil.

Palavras-chave: Grupo Gerador HUSQVARNA G1300P. Gasolina E27. Etanol E100. Instalação de Ensaios. Curva de Desempenho. Parâmetros Operacionais.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO4

2. DESENVOLVIMENTO6

2.1 OBJETIVO GERAL.....6

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS6

2.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS18

2.4 RESULTADOS22

3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES29

1. INTRODUÇÃO

O Grupo Gerador Husqvarna G1300P (Figura 1), com potência máxima de 1.2kW, e potência nominal de 1000 Watts, foi projetado para fornecimento de energia para casas, mercearias e escritórios.

Figura 1 – Grupo Gerado Husqvarna G1300P



Fonte: <https://www.husqvarna.com/br/geradores/g1300p/>

Para ensaio com Etanol do Motor do Grupo Gerador HUSQVARNA G1300P em primeiro lugar foi necessário conhecer os pormenores da operação do grupo com o combustível original, ou seja, a Gasolina C, ou E27.

O conhecimento da operação com E27 teve início com um estudo aprofundado do Manual de Operação (MANUAL DO USUÁRIO GERADORES PORTÁTEIS G1300P, G2500P, G3200P, G5500P, G8500P). Do estudo do Manual de Operação destacamos a importância dos itens de SEGURANÇA, que foram rigidamente observados durante todos os ensaios. Seguindo as recomendações do Manual de Operação, um local adequado de instalação foi estabelecido e o grupo operou, em estado original, durante cinco horas e aproximadamente vinte partidas.

Conhecida a operação do grupo, as devidas modificações foram feitas na configuração original, sobretudo na alimentação de combustível, para permitir a medida do consumo de combustível. A curva principal de desempenho com a Gasolina E27, que estabelece o consumo de combustível em função da potência fornecida pelo Gerador, foi levantada e outros parâmetros importantes, tais como

condições ambientes, temperaturas e nível de ruído foram medidos, de maneira a servirem de base de comparação para operação do Grupo Gerador com diferentes misturas “flex-fuel” de Gasolina C (E27) com Etanol (E100).

As seguintes misturas “flex fuel” foram ensaiadas:

- (a) 90% de E27 com 10% de E100;
- (b) 80% de E27 com 20% de E100;
- (c) 60% de E27 com 40% de E100; e
- (d) 70% de E27 com 30% de E100.

Em todas essas misturas “flex-fuel” prestou-se especial atenção nas curvas de consumo de combustível, em função da potência, fornecida pelo Gerador, além de ser observada as condições de estabilidade de operação do Grupo Gerador. Medidas das condições ambientes (temperatura, pressão e umidade relativa) e temperaturas do ar de entrada no motor e do escapamento do motor foram efetuadas, bem como o nível de ruído foi avaliado. O Grupo Gerador possui um medidor V.F.T. (V – Tensão em volts; F – frequência em Hertz; e T – tempo em horas de operação), cujas leituras foram rigorosamente anotadas durante a realização dos ensaios.

O Manual de Operação (MANUAL DO USUÁRIO GERADORES PORTÁTEIS G1300P, G2500P, G3200P, G5500P, G8500P) cita que não se deve utilizar gasolina com mais de 10% de concentração de etanol, mas isso não se aplica ao mercado brasileiro, que utiliza o E27, com 27% de etanol anidro, sendo que o objetivo do presente trabalho é investigar percentuais maiores de etanol.

2. DESENVOLVIMENTO

A seguir são descritas as principais medidas tomadas, as observações importantes efetuadas, as discussões e os resultados encontrados, no que diz respeito aos ensaios com E27 e com as misturas “flex-fuel” do Motor do Grupo Gerador HUSQVARNA G1300P.

2.1 OBJETIVO GERAL

Obtenção da curva característica “consumo de combustível versus potência”, bem como determinar o comportamento de outros parâmetros importantes, do motor do Grupo Gerador HUSQVARNA G1300P operando com E27 e com outras misturas “flex-fuel” de gasolina (E27) com etanol (E100).

2.1.1 Objetivos específicos

- Familiarização com a operação do Grupo Gerador.
- Montagem das instalações de ensaio.
- Desenvolvimento dos procedimentos de ensaios.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Grupo Gerador HUSQVARNA G1300P

O Grupo Gerador HUSQVARNA G1300P, mostrado na Figura 1, utilizado nos ensaios, possui as especificações técnicas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações técnicas do Grupo Gerador Husqvarna G1300P

	Husqvarna G1300P	Husqvarna G1300P
Cilindrada do motor, cc	98,5	98,5
Potência de pico, W ¹⁹	1000	1200
Potência nominal, W	800	1000
Tensão, V	230	110/220, 120/240
Frequência nominal, Hz	50	60
Fase	1	1
Peso líquido, kg	28,0	28,0
Peso bruto, kg	29,2	29,2
Tamanho da embalagem, mm	500X375X435	500X375X435

Fonte: <https://www.husqvarna.com/br/geradores/g1300p/>

OBS: O Grupo Gerador em ensaio a tensão é de 110 Volts, 60 Hz e o nível de potência acústica garantido é de 95 dB(A).

Para amaciamento do motor, o grupo foi posto em funcionamento por cinco horas sem carga e com carga de 400 Watts.

Durante esse período foi possível conhecer em pormenores a operação do grupo gerador, dando destaque para a fase de partida, quando o afogador deve ser adequadamente operado (totalmente afogado no início e depois controlado na posição intermediária por volta de dois minutos, antes da posição totalmente aberto) para o funcionamento estável do motor.

2.2.2 Medição do consumo mássico de combustível

A medição do consumo mássico de combustível (medidor gravimétrico), com a precisão necessária, foi o maior desafio encontrado nessa fase do projeto. O desafio tornou-se ainda maior considerando que o equipamento utilizado na medição foi de baixo custo e deveria atender a necessidade de medir pequenos consumos com precisão.

Uma metodologia especial de medição foi utilizada para se atingir o objetivo.

O tanque de combustível original foi substituído por um tanque de menor peso e com formato adequado para ser colocado em cima de uma balança, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Medidor de consumo mássico.



Fonte: Autores.

A balança utilizada nas medições é mostrada na Figura 3. A balança é de baixíssimo custo (por volta de R\$30,00 em abril de 2022) e com escala de leitura mínima de uma grama. Com essa escala mínima de leitura, para uma precisão aceitável, um método especial de medida foi desenvolvido.

Figura 3 – Balança de medição de massa.



Fonte: <https://www.amazon.com.br/Balan%C3%A7a-Cozinha-Alta-Precis%C3%A3o-Digital/dp/B0843HKX18-> Acesso 26/07/2022

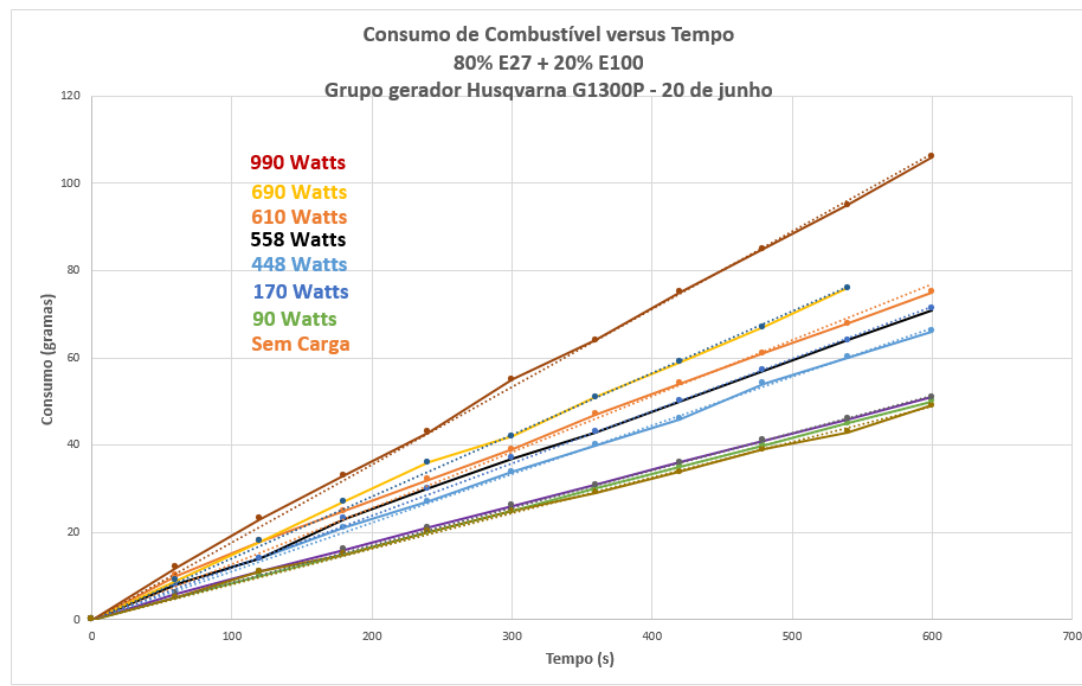
No desenvolvimento do método os seguintes pontos foram levados em consideração:

- I. Como a sensibilidade da balança é de 1 grama, o consumo total medido deve passar das 50 gramas – portanto, o tempo de medida teve a duração de 10 minutos;
- II. A desvantagem do método é o tempo despendido em cada medida, ou seja, 10 minutos é um tempo relativamente longo para cada medida;
- III. Com uma duração de 10 minutos, a evolução do consumo foi observada de minuto a minuto (usando uma planilha do Excel), com vistas a identificar possíveis alterações, ou na operação do grupo gerador, ou algum distúrbio no processo de medição;
- IV. A Figura 4 mostra as diversas medidas feitas em um dia particular de ensaio, onde é possível observar como o consumo do motor evolui nos 10 minutos de duração de aplicação da potência nos bornes do gerador.
- V. Não havendo distúrbios, ou no funcionamento do motor, ou no processo de medida, o consumo mássico é determinado pela Fórmula (1).

$$\dot{m} \left(\frac{g}{seg} \right) = \frac{m_{inicial}(g) - m_{final}(g)}{t(s)} \quad (1)$$

O tempo $t(s)$ normal é 600 segundos, mas pode ser menor, caso haja distúrbios antes de se chegar aos 10 minutos.

Figura 4 – Medidas de consumo no tempo, em função da carga



Fonte: Autores.

- VI. Tanque de combustível colocado em uma altura suficiente para permitir a alimentação adequada de combustível ao motor;
- VII. A instalação de um filtro de combustível na ligação entre o tanque de combustível e o carburador do motor;
- VIII. A instalação de um sistema de trava no tubo de combustível de saída do tanque, de maneira a isolar qualquer interferência do movimento do Grupo Gerador no processo de medida de massa da balança;
- IX. A colocação de um peso auxiliar (aproximadamente 40 gramas) por alguns segundos, logo após a medida de consumo em cada minuto, para evitar que a balança entre em repouso (este repouso está programado no funcionamento normal da balança, para economizar bateria);

A Figura 5 mostra a instalação final do tanque de combustível posicionado em cima da balança, o filtro de combustível e o sistema de trava.

Figura 5 – Montagem final do sistema de medição de consumo mássico



Fonte: Autores.

2.2.3 Medição da potência fornecida pelo gerador

Para medição da potência fornecida pelo gerador foi utilizado um wattímetro “Kill A Watt” modelo P4400, conforme mostrado na Figura 6.

As medidas do wattímetro “Kill A Watt” modelo P4400 foram comparadas com as medidas de um Analisador de Sinais Elétricos de grande precisão e se mostraram precisas o suficiente para o fim a que se destina o wattímetro.

Figura 6 – Wattímetro “Kill A Watt” modelo P4400



Fonte: <https://www.amazon.com.br/Watt%C3%ADmetro-P3-Kill-Watt-P4400/dp/B00009MDBU> - Acesso 26/07/2022

2.2.4 Medições das temperaturas da entrada de ar e do escapamento do motor

Como a intenção era não alterar a estrutura do motor do Grupo Gerador, optou-se pela utilização de um termômetro infravermelho Minipa MT-350 (Figura 7) para as medidas das temperaturas de entrada de ar (medida na parede do filtro de ar) e dos gases de escapamento do motor (medida na superfície do tubo de escapamento, entre o cabeçote e o redutor de ruído). Porém, as medidas efetuadas não foram confiáveis, sobretudo a temperaturas dos gases de escape. Portanto, uma nova metodologia de medição das temperaturas, sobretudo a temperatura de escape, deve ser desenvolvida. Para tanto, uma estimativa do valor de temperatura dos gases de escape está sendo determinada, usando software que simulam o desempenho de motores a combustão interna.

Figura 7 – Termômetro infravermelho Minipa MT-350



Fonte: http://www.minipa.com.br/images/proposta_tecnica/Mt-350-1301-BR.pdf

Acesso 28/07/2022

2.2.5 Medições das condições ambientes de temperatura, pressão e umidade relativa

As medições das condições ambientes de temperatura, pressão e umidade relativa são importantes, pois esses parâmetros influenciam no desempenho do motor. A temperatura, a mais influente no desempenho, está relacionada ao horário do dia e às estações do ano; a pressão ambiente está mais relacionada à altitude do local dos ensaios; e a umidade relativa está relacionada às condições climáticas.

Para a comparação do desempenho de um motor operando em diferentes condições ambientes de temperatura, pressão e umidade relativa, existem normas para a correção da potência do motor para as condições atmosféricas padrão. Exemplo é a NBR ISO 1585/1996 - Veículos rodoviários - Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva.

As condições ambientes de temperatura, pressão e umidade relativa foram medidas, mas as correções do desempenho para as condições atmosféricas padrão não foram efetuadas, uma vez que o objetivo dos ensaios é a comparação do desempenho com diferentes misturas “flex-fuel” e as condições ambientes não foram significativamente alteradas durante os ensaios.

Caso futuramente as correções para as condições atmosféricas padrão sejam necessárias, as condições ambientes de temperatura e umidade relativa foram medidas usando um TERMO HIGROMETRO RELOGIO HT-208 ICEL, mostrado na Figura 8. A pressão atmosférica foi medida usando um barômetro digital disponível em uma bancada de ensaios do Laboratório de Motores (LMOT).

Figura 8 – TERMO HIGROMETRO RELOGIO HT-208 ICEL



Fonte: <http://www.mrelectron.com.br/loja/produto/termo-higrometro-relogio-ht-208-icel> - Acesso 27/07/2022

2.2.6 Medição do nível de ruído

O MANUAL DO USUÁRIO GERADORES PORTÁTEIS G1300P, G2500P, G3200P, G5500P, G8500P indica que o nível de potência acústica garantido para o G1300P é de 95 dB(A).

A medição do nível de ruído é uma informação importante, pois a combustão, diretamente relacionada com o tipo de combustível utilizado, é uma importante fonte de ruído em um motor a combustão interna. Caso haja uma tendência à detonação, o nível de ruído é uma forte indicação dessa tendência.

O medidor de nível de ruído utilizado foi o decibelímetro “Digital Sound Level Meter” mostrado na Figura 9.

O método de medida procurou atender o máximo possível a ABNT - NBR 9714 - Veículo Rodoviário Automotor - Ruído Emitido na Condição Parado, apesar do Grupo gerador não ser um veículo automotor. O decibelímetro foi instalado na mesma altura da saída do tubo de escapamento, a uma distância de meio metro e em um ângulo de 45°, conforma mostra a Figura 10.

Figura 9 – Decibelímetro



Fonte: Mercado Livre

Figura 10 – Posicionamento do decibelímetro com relação à saída do tubo de escape do motor



Fonte: Autores.

2.2.7 Medições da Tensão, Frequência e Tempo de Funcionamento

Quanto as Medições da Tensão, Frequência e Tempo de Funcionamento, o próprio Grupo Gerador já possui um Medidor de V.F.T. – V, tensão em Volts; F, frequência em HZ; e T, em horas de operação do Grupo Gerador. A Figura 11 mostra o posicionamento do Medidor de V.F.T. no corpo do Grupo Gerador.

Destaca-se: a voltagem é relativamente estável em 109 Volts; a frequência varia aproximadamente de 62 Hz, sem carga, até 58 Hz, a plena carga; e a cada 20 horas de operação o óleo lubrificante do motor deve ser trocado.

2.2.8 Cargas Elétricas

As cargas elétricas utilizadas no carregamento do gerador do Grupo Gerador estão mostradas na Figura 12. São elas, com seus respectivos valores de absorção de potência na tensão de 109 Volts:

- Lâmpada halógena Avant – 82 Watts.
- Lâmpada halógena Elgin – 83 Watts.
- Refletor com lâmpada halógena FLC – 400 Watts.
- Aquecedor de ar – 530 Watts.
- Fogão elétrico – 610 Watts.

Figura 11 - Medidor de V.F.T. no corpo do Grupo Gerador



Fonte: Autores

Figura 12 – Cargas Elétricas



Fonte: Autores.

2.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os procedimentos experimentais foram divididos em três etapas: pré-ensaios de consumo; ensaios de consumo; e pós- ensaios de consumo. As três etapas são descritas a seguir.

2.3.1 Etapa Pré-ensaios de Consumo

Os trabalhos no projeto começaram efetivamente em 29 de março de 2022, com a equipe de projeto estudando o MANUAL DO USUÁRIO GERADORES PORTÁTEIS G1300P, G2500P, G3200P, G5500P, G8500P. Do estudo do Manual de Operação destacamos a importância dos itens de SEGURANÇA, que foram rigidamente observados durante todos os ensaios.

No mês de abril, seguindo as recomendações do Manual de Operação, um primeiro local adequado de instalação foi estabelecido e o grupo operou, em estado original e após o primeiro abastecimento de óleo lubrificante, durante cinco horas e aproximadamente vinte partidas.

Nessas cinco primeiras horas, consideradas como período de amaciamento do motor, foi possível a familiarização com o controle do afogador durante a partida e aquecimento do motor. Destaca-se que no início a partida era difícil, com recorrente desligamento do motor, porém, após o amaciamento, a partida tornou-se mais fácil e bem controlada.

Outro procedimento desenvolvido nesse período foi o do processo de medição do consumo de combustível do motor. Seguindo a intenção de não alterar a estrutura do Grupo Gerador, fez-se a tentativa de utilizar o tanque de combustível original no processo de medida de consumo de combustível. O tanque era abastecido com um volume conhecido de combustível e operava-se o motor na sequência: partida; o aquecimento por dois minutos; e a operação com carga conhecida por um tempo pré-estabelecido. Medido o volume restante no tanque, determinava-se o consumo de combustível na dada sequência.

Porém, repetidas sequências iguais, o consumo de combustível não se repetiu, indicando que o método não era adequado. O tanque original teve que ser descartado e um novo tanque, com capacidade e peso adequados, passou a ser utilizado. A Figura 5 mostra como ficou a instalação do novo tanque.

Com o novo tanque, a melhor opção passou a ser a medida do consumo mássico de combustível (análise gravimétrica), ao invés da medida volumétrica. O novo tanque foi colocado em cima de uma balança e o consumo mássico medido com o passar do tempo. Dois problemas tiveram que ser resolvidos com o uso da balança (de baixo custo):

- Como a sensibilidade da balança é de uma grama, para uma boa precisão de medida, o tempo de duração das medidas foi escolhido como dez minutos, o que implica em um tempo maior de ensaio e um maior consumo de combustível. Por outro lado, foi possível acompanhar a evolução do consumo minuto a minuto e com isso observar a estabilidade de funcionamento do motor nos dez minutos de duração das medidas. A Figura 4 mostra o resultado do procedimento. Os valores medidos de minuto e minuto eram colocados em uma planilha do Excel, uma linha de tendência, uma reta com origem no zero, era traçada e a estabilidade no funcionamento do motor avaliado. A massa total consumida nos dez minutos resultava no consumo mássico do motor, para uma dada potência fornecida pelo gerador.

- A balança possui a propriedade de desligar automaticamente, para economia da bateria, caso não esteja sendo usada. Como o consumo de combustível é pequeno, a balança entende como não uso e desliga automaticamente. A solução encontrada, para o não desligamento, foi colocar, por alguns segundos, e retirar um peso de 40 gramas da balança, em intervalos de um minuto. O problema foi resolvido.

Após essa etapa, a instalação do Grupo Gerador estava pronta para a realização dos ensaios com as diferentes misturas “flex fuel”.

2.3.2 Etapa Ensaios de Consumo

A preocupação primeira, com os ensaios, foi a medida do consumo de combustível em função da potência, aliada com as medidas das condições ambientes e V.F.T. As outras medidas de temperatura de entrada do ar, de temperatura do escapamento e do nível de ruído foram feitas, em condições selecionadas, na fase seguinte de Pós-ensaios.

Utilizando o procedimento de ensaio desenvolvido durante o mês de abril, os ensaios começaram a ser realizados efetivamente no dia 04 de maio.

Foi adotada a seguinte estratégia de ensaios de consumo das diferentes misturas “flex fuel”:

1. Primeiro o ensaio da gasolina E27 pura, para servir de base de comparação com os ensaios das misturas “flex-fuel”;
2. Em seguida foi ensaiada a mistura “flex-fuel” - 90% de E27 com 10% de E100;
3. Dando prosseguimento foi ensaiada a mistura “flex-fuel” - 80% de E27 com 20% de E100;
4. Tentando queimar etapas, em seguida foi ensaiada a mistura “flex-fuel” - 60% de E27 com 40% de E100;
5. Finalmente, como o funcionamento com a mistura anterior apresentou instabilidade, foi necessário voltar ao ensaio com a mistura “flex-fuel” - 70% de E27 com 30% de E100.

Os resultados do consumo de combustível obtidos com cada uma dessa misturas “flex-fuel” serão apresentados no item 2.4 e essa etapa dos ensaios foi encerrada no dia 07 de julho.

2.3.3 Etapa Pós-ensaios de Consumo

Como em **2.3.2 Etapa Ensaios de Consumo** foi concluído que a mistura “flex-fuel” limite para a operação estável do Grupo Gerador é 80% de E27 com 20% de E100, na Etapa Pós-ensaios de Consumo foram comparadas as medidas de temperatura de entrada de ar, temperatura do escapamento e nível de ruído dessa mistura limite com as mesmas medidas para a gasolina E27 pura.

Essa etapa dos ensaios foi realizada nos dias 18 e 20 de julho e os resultados das medidas de comparação serão apresentados no item 2.4.

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Etapa Ensaios de Consumo

Para exemplificar os resultados obtidos com as medidas de consumo de combustível em função da potência, os gráficos mostrados nas Figuras 13 e 14 apresentam os pormenores dos métodos de medidas, para duas misturas “flex-fuel” diferentes.

Para determinação do consumo mássico de combustível, o valor final do consumo (gramas) foi dividido pelo tempo final, que na maioria dos casos foi igual a 600 segundo.

Figura 13 – Evolução do consumo de combustível com o tempo, função da potência: 100% E27 + 0% E100

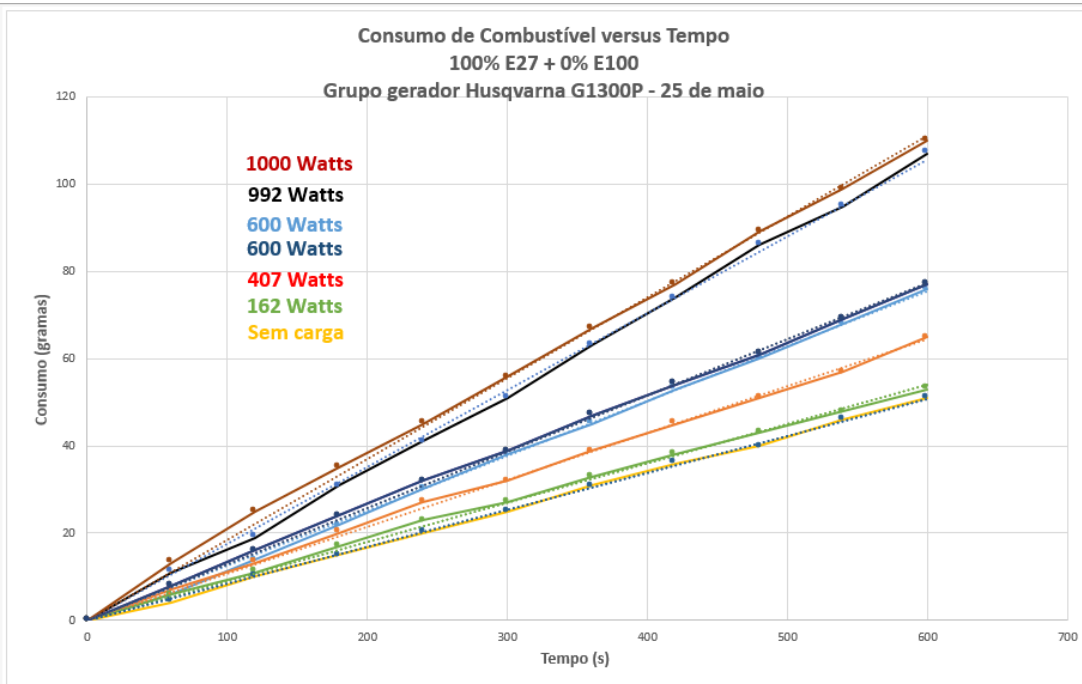
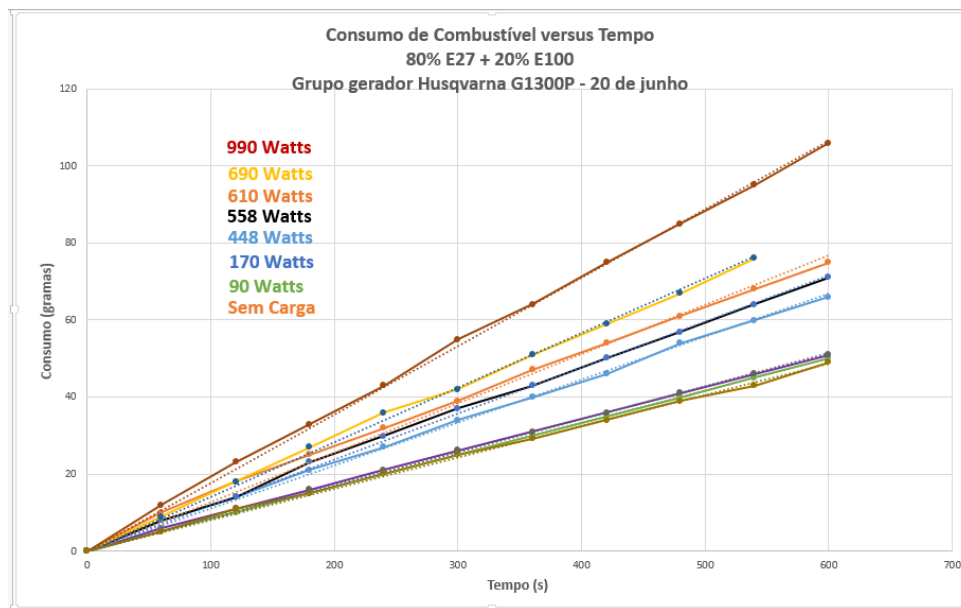
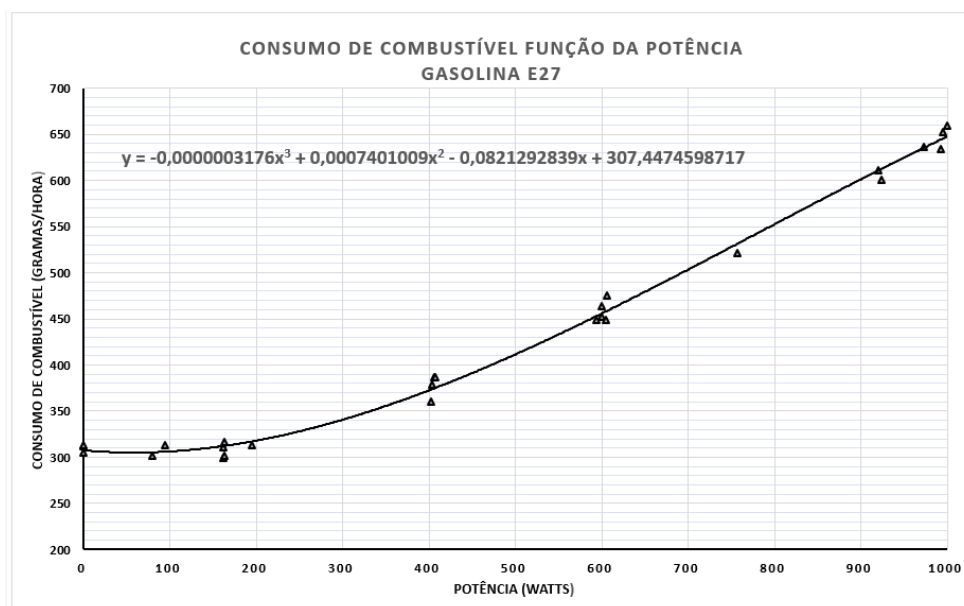


Figura 14 – Evolução do consumo de combustível com o tempo, função da potência: 80% E27 + 20% E100



A seguir são apresentados os resultados das medições do consumo de combustível, dado em gramas/hora, para a gasolina E27, que serve como referência, e das outras misturas “flex-fuel”.

I. Figura 15 – Resultado do ensaio com a gasolina E27 pura.



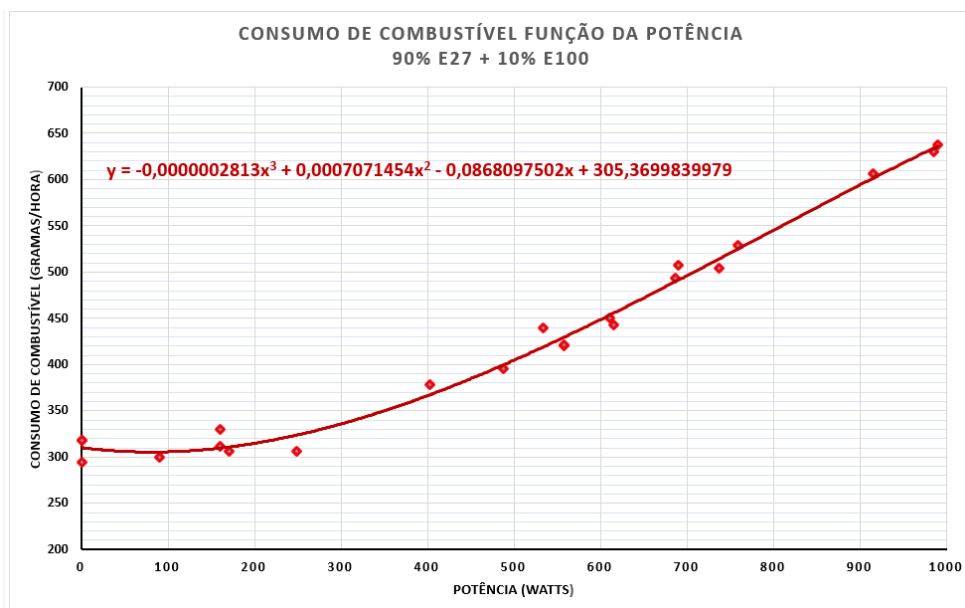
A Equação 2 é a equação da linha de tendência retirado do gráfico do consumo em função da potência.

$$Y = -0,0000003176x^3 + 0,0007401009x^2 - 0,0821292839x + 307,4474598717 \quad (2)$$

Vale destacar que o consumo de combustível é dependente da temperatura do óleo, sobretudo em baixas cargas. Portanto, o período de pré-aquecimento do motor é fundamental na execução das medidas de consumo.

O consumo permanece praticamente constante na faixa de potência entre sem carga e 200 Watts. Isso certamente devido ao fato de que sem carga a mistura ar-combustível é muito rica e a riqueza diminui à medida que a potência aumenta até 200 Watts, portanto a eficiência da combustão aumenta. Após os 200 Watts, o consumo aumenta praticamente linear com a potência.

II. Figura 16 – Resultado do ensaio com a mistura “flex-fuel” 90% de E27 com 10% de E100.

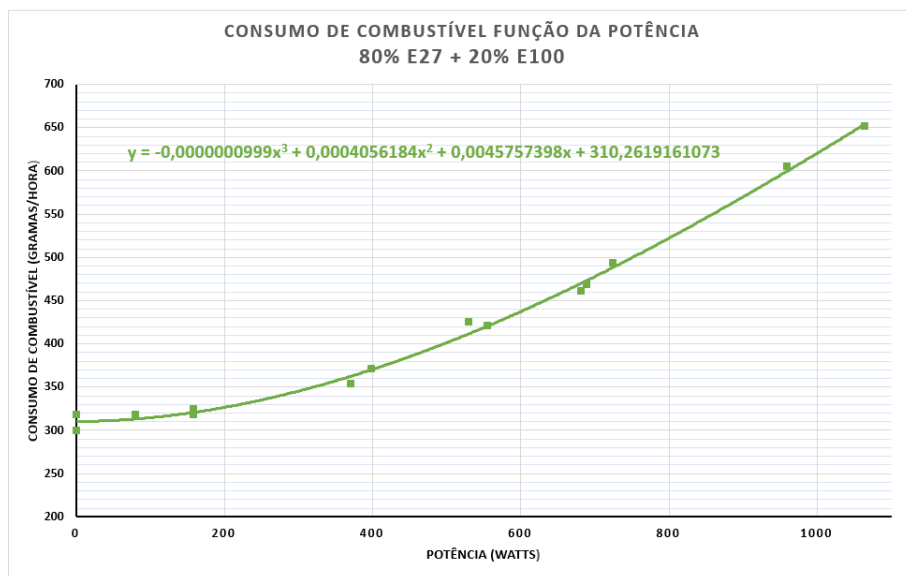


A Equação 3 é a equação da linha de tendência retirado do gráfico do consumo em função da potência.

$$Y = -0,0000002813x^3 + 0,0007071454x^2 - 0,0868097502x + 305,3699839979 \quad (3)$$

Fica a observação de que os tempos de manutenção do afogamento e de aquecimento do motor são maiores do que para o caso da E27 pura.

III. Figura 17 – Resultado do ensaio com a mistura “flex-fuel” 80% de E27 com 20% de E100.

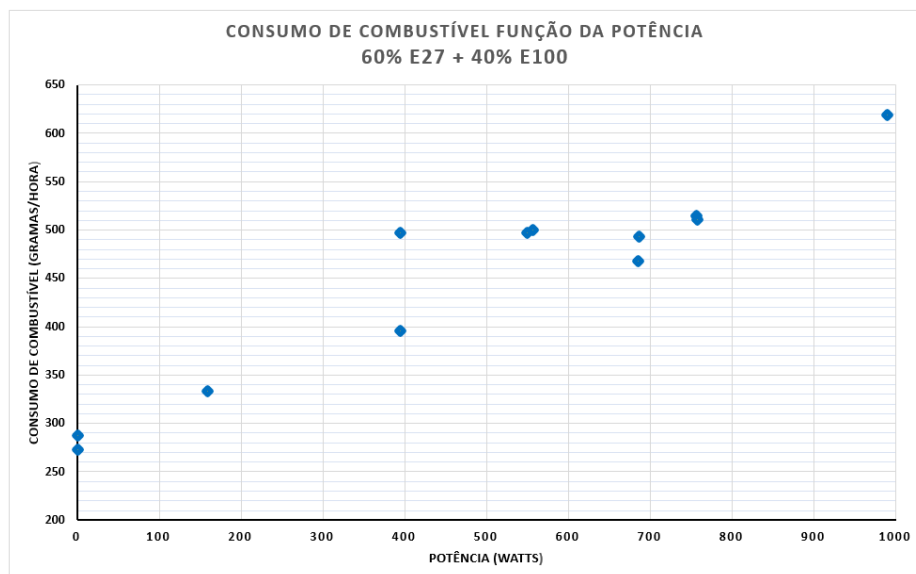


A Equação 4 é a equação da linha de tendência retirado do gráfico do consumo em função da potência.

$$Y = -0,0000000999x^3 + 0,0004056184x^2 + 0,0045757398x + 310,2619161073 \quad (4)$$

Em choques de carga média (400 Watts) o tempo de estabilização da operação é maior que no caso da E27 pura.

IV. Figura 18 – Resultado do ensaio com a mistura “flex-fuel” 60% de E27 com 40% de E100.

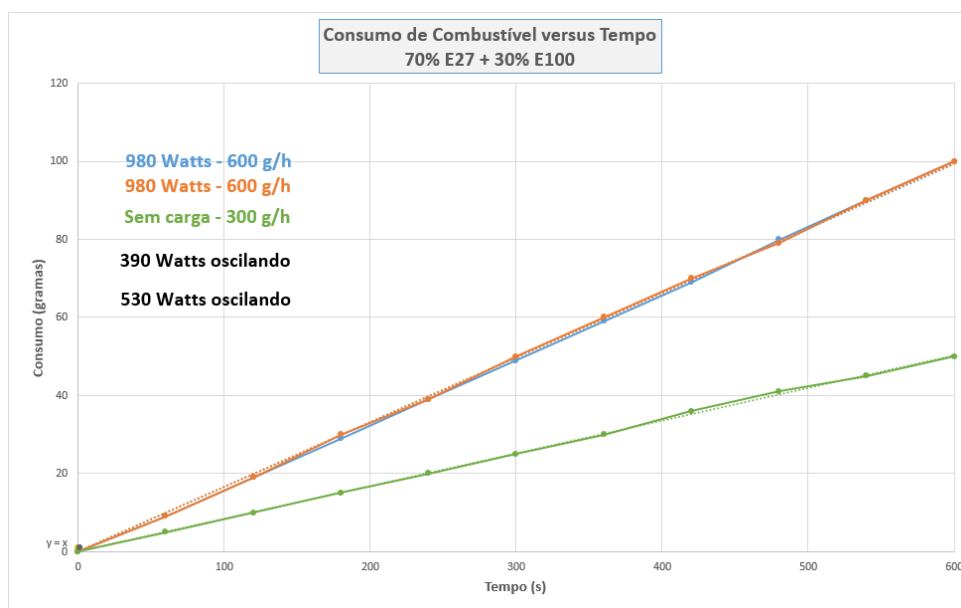


Com essa mistura “flex-fuel” foi observado a instabilidade na operação do Grupo Gerador, sobretudo em cargas médias. Por exemplo, em 400 Watts a frequência de geração de energia elétrica oscilava entre aproximadamente 58Hz e 62Hz.

Para reduzir as oscilações foi necessário acionar o afogador, porém o consumo de combustível aumentou sobremaneira, como pode ser observado nos dois pontos na potência de 400 Watts (consumo menor, oscilação; consumo maior, afogador acionado).

Em cargas mais elevadas, acima de 800 Watts, as oscilações desaparecem, inclusive com um consumo menor do que o consumo com a E27 pura. Porém, como o Grupo Gerador é projetado para operação em toda a faixa de potência, essa mistura “flex-fuel” não é indicada.

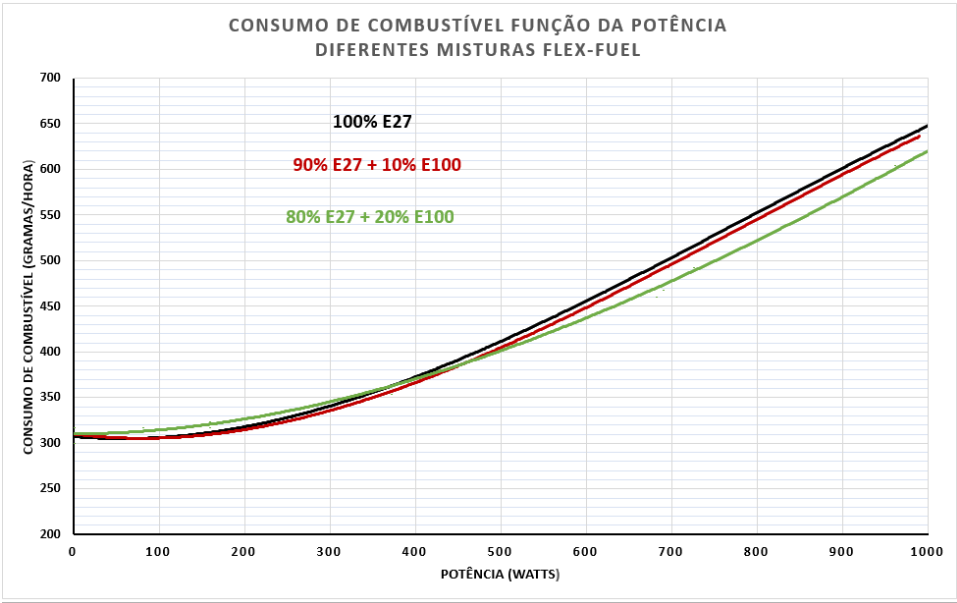
V. Figura 19 – Resultado do ensaio com a mistura “flex-fuel” 70% de E27 com 30% de E100



Como o funcionamento com a mistura 60% de E27 com 40% de E100 apresentou instabilidade, foi necessário voltar ao ensaio com a mistura “flex-fuel” 70% de E27 com 30% de E100.

Como observado na Figura 19, as oscilações também estavam presentes nas meias cargas, ao passo que houve estabilidade nas condições de plena carga e sem carga. Portanto, essa mistura “flex-fuel” também não é indicada.

VI. Figura 20 – Resultado comparativo dos consumos das misturas: E27 pura; 90% de E27 com 10% de E100; 80% de E27 com 20% de E100



Para baixas cargas o consumo aumenta pouco com o aumento do teor de E100 na mistura, porém, em altas cargas, o consumo diminui. Usando as Curvas de Tendências dadas anteriormente, a Tabela 2 foi construída.

Tabela 2 – Comparação de Consumos das misturas função da carga

Potência	100%E27		90%E27+10%E100		80%E27+20%E100	
Watts	g/h	%	g/h	%	g/h	%
0	307	100	305	99,3	310	100,9
100	306	100	304	99,1	315	102,7
200	318	100	314	98,7	327	102,7
300	341	100	335	98,4	345	101,4
400	373	100	366	98,2	371	99,4
500	412	100	404	98,0	402	97,5
600	456	100	447	98,0	437	95,9
700	504	100	495	98,2	478	94,9
800	553	100	544	98,5	522	94,5
900	601	100	595	98,9	570	94,8
1000	648	100	644	99,5	621	95,8

Obs.: Consumo da 100%E27 como referência.

2.4.2 Etapa Pós-ensaios de Consumo

Uma vez estabelecida que a mistura “flex-fuel” limite máximo é a de 80%E27 + 20%E100, foi realizada a Etapa Pós-ensaios de Consumo, com o objetivo de comparar os parâmetros de temperatura de entrada de ar, temperatura de escape, bem como do nível de ruído.

O resultado do Pós-ensaios da mistura “flex-fuel” 80%E27 + 20%E100 está relatado no APÊNDICE A – Pós-ensaios da mistura 80% E27 + 20%E100.

O resultado do Pós-ensaios de 100% da E27 está relatado no APÊNDICE B – Pós-ensaios 100% E27.

Nas Tabelas 3 e 4 estão colocados dados resumidos dos Apêndices A e B, importantes para a análise do grau de aquecimento e do nível de ruído do motor.

Tabela 3 – Resumo do Pós-ensaios da mistura 80% E27 + 20%E100

Potência (Watts)	Escape (°C)	Entrada (°C)	Ruído (dBA)
0	335	29,0	94,0
410	336	25,0	95,1
912	340	29,5	97,5

Tabela 4 – Resumo do Pós-ensaios 100% E27

Potência (Watts)	Escape (°C)	Entrada (°C)	Ruído (dBA)
0	204	27,0	93,2
410	217	28,5	94,4
914	241	30,0	97,5

A temperatura de escape mostra que o motor trabalha mais aquecido com a mistura 80% E27 + 20%E100 e o nível de ruído é muito pouca coisa maior com a mistura.

3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A principal conclusão dos Ensaio com as misturas "flex-fuel" no Motor do Grupo Gerador HUSQVARNA G1300P é que o uso do etanol torna a operação do Grupo mais econômica, uma vez que o consumo e o preço do etanol (E100) é menor que o preço e o consumo da gasolina (E27). Em números: da Tabela 2 vê-se que o consumo mássico da mistura 80%E27+20%E100 chega a ser 95% do consumo mássico da E27; como a densidade da mistura é um pouco maior que a densidade da E27 pura, o consumo volumétrico da mistura chega a ser ainda menor que 95% do consumo volumétrico da E27.

Por outro lado, a recomendação é que a percentagem de E100 na mistura "flex-fuel" não ultrapasse os 20%, uma vez que, com percentagem acima desse valor, a operação do Grupo não é totalmente estável.

De maneira geral, o funcionamento diferenciado do motor com a mistura "flex-fuel" advém do empobrecimento da mistura ar-combustível que participa da combustão. Na combustão, a razão ar-combustível estequiométrica da gasolina é 13,5 ao passo que do etanol é 8,4. Substituindo parte da gasolina pelo etanol, menos ar será necessário na combustão, ou seja, começa a sobrar ar, e a mistura ar-combustível se torna pobre (em combustível), isto é, com excesso de ar, quando comparada com a mistura estequiométrica.

Com o gradual aumento da percentagem de etanol na mistura, a medida em que a mistura empobrece, no começo a eficiência da combustão melhora, pois com o excesso de ar garante-se que todo o combustível disponível será queimado. Por isso o consumo de combustível do motor até diminuiu, apesar do Poder Calorífico Inferior (PCI) do etanol (6.300 kcal/kg) ser inferior ao PCI da gasolina (9.400 kcal/kg).

Porém, a partir de uma certa percentagem de etanol na mistura, ou seja, a partir de um certo empobrecimento (excesso de ar) da mistura, a combustão torna-se instável, devido a menor velocidade da chama (a combustão é prolongada). Instabilidade na combustão, é claro, implica na instabilidade de funcionamento do motor.

A mistura limite para o funcionamento estável do motor, em toda a faixa de potência, é 80% de gasolina com 20% de etanol. Com esta mistura o consumo de combustível diminui. Com uma percentagem maior de etanol o funcionamento se torna instável, sobretudo em condições de média potência (400 Watts). Em alta potência, como a tendência de um carburador é enriquecer a mistura ar-combustível com a borboleta bastante aberta, o funcionamento volta a ser estável. Outra maneira de recuperar a estabilidade em cargas médias é acionar a borboleta do afogador do carburador e o consequente enriquecimento da mistura, porém, nessas condições, o consumo aumenta demasiadamente, devido ao aumento do trabalho de bombeamento (aumento no trabalho necessário para introduzir o ar no motor, devido ao aumento da perda de carga na entrada de ar).

A maneira de enriquecer a mistura, sem aumentar o trabalho de bombeamento, é aumentando o diâmetro do glicleur (orifício calibrado) do carburador; é o que se pretende fazer na próxima etapa do trabalho. O novo diâmetro do glicleur será dimensionado de maneira que seja possível operar com etanol puro.

Com o empobrecimento da mistura o motor trabalha mais aquecido devido a menor velocidade de chama, ou seja, a chama perdura por maior tempo. Os resultados da temperatura de escape apresentados nas Tabelas 3 e 4 comprovam o maior aquecimento do motor. Uma outra maneira de verificar o maior aquecimento do motor é comparando o estado da vela de ignição, após um longo tempo de operação, para cada condição de operação: somente gasolina; e mistura gasolina com etanol. A medida da temperatura dos gases de escape é uma boa indicação do maior aquecimento do motor e a instalação de um termopar no tubo de escape é necessária.

Com o aumento de etanol na mistura a operação torna-se mais econômica, mas o motor trabalha mais aquecido. Portanto, não basta somente observar a economia no custo do combustível, mas é necessário observar também se o maior aquecimento não afetará negativamente a vida útil do motor.

Foi feito o teste com a mistura de 70% de gasolina com 30% de etanol. A operação se mostrou instável. A conclusão que chegamos é que a mistura 80%

de gasolina com 20% de etanol está no limite de operação estável do grupo gerador. Nesta condição, eventualmente a instabilidade aparece em pequenos intervalos de tempo e com pequena amplitude.

Uma recomendação importante é que sejam efetuadas as mudanças que permitam o motor operar com etanol puro. Essas mudanças são, em primeiro lugar, aumentar os orifícios de injeção do carburador, para que mais etanol seja injetado no escoamento de ar, não permitindo que a relação ar-combustível empobreça, e em segundo lugar, que a taxa de compressão do motor seja aumentada, para o aumento de eficiência do motor, uma vez que o etanol possui uma octanagem maior do que a gasolina, permitindo maiores taxas de compressão. Aliada ao aumento da taxa de compressão, duas outras medidas deverão ser tomadas: aumento no avanço da faísca e introdução de um processo que permita a partida do motor em baixas temperaturas ambientes.

APÊNDICE A – Pós-ensaios da mistura 80% E27 + 20%E100

Planilha de Ensaio

- Objetivo do Ensaio: Avaliação do Ruído e da Temperatura de Escape.
- Data: 18 de julho de 2022
- Horário de início - 07:39 Horário de encerramento - 08:40
- Temperatura ambiente início: 18 °C Temperatura ambiente encerramento: 21 °C
- Pressão Ambiente: 924 mbar
- Umidade relativa: 51%
- Composição do Combustível: 80% E27 + 20%E100
- Tempo início: 0042 h Tempo encerramento: 0043 h
- Condições de partida: 5 minutos de aquecimento.

Potência (Watts)	Tensão (Volts)	Frequência (Hz)	Escape (°C)	Entrada (°C)	Ruído (dBA)
914	108	58,0	338	31,0	97,4
410	108	59,7	338	24,5	95,0
0	108	61,4	330	25,0	94,0
410	108	59,5	334	26,0	95,2
910	108	58,0	342	28,0	97,6
0	107	61,6	340	34,0	94,0

10. Comentários e conclusões:
- a) A medida da temperatura de escape é difícil e não se pode garantir precisão.
Para melhor precisão seria necessária a instalação de um termopar.
 - b) O nível de ruído aumenta com a potência.
 - c) A condição da vela de ignição será verificada com o motor frio.
11. Responsáveis: Felipe Teixeira e Marco Alves.

REFERÊNCIAS

ABNT - NBR 9714 - Veículo rodoviário automotor - Ruído emitido na condição parado.

MANUAL DO USUÁRIO GERADORES PORTÁTEIS G1300P, G2500P, G3200P, G5500P, G8500P; encontrado em <https://www.husqvarna.com/br/geradores/g1300p/>; acesso 25/07/2022.

NBR ISO 1585/1996 - Veículos rodoviários - Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva.