

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÓLEO VEGETAL PARA UM GRUPO GERADOR

Gerson Haruo Inoue¹, Luciano Baião Vieira², Guilherme Ladeira Santos³, Ricardo Capúcio Resende⁴, Adílio Flauzino Lacerda Filho⁵

Resumo

A utilização de óleos vegetais na forma “*in natura*” pode ser viável, adotando-se algumas técnicas para melhorar a injeção do combustível. Neste trabalho, desenvolveu-se um sistema de aquecimento que utilizou como fonte de calor os gases de escape de um motor diesel estacionário. Foram conduzidos dois experimentos. No primeiro, o motor foi avaliado num dinamômetro. No segundo, o motor foi acoplado a um gerador e funcionou por 300 horas. Ao final do trabalho, verificou-se que: o controle de fluxo foi eficiente no controle da temperatura, até o limite de 150° C; em condição de campo, o sistema foi eficiente no aquecimento do combustível a 90°C; e a utilização de óleo vegetal é alternativa viável para utilização em grupos geradores de comunidades isoladas.

Palavras-chaves: biocombustíveis, óleos vegetais, geração de energia.

Abstract

Development and Evaluation of a Vegetal Oil Heating System for use in a Generator Group.

By adopting some techniques to improve the fuel injection, the *in natura* vegetal oil can be viable for use in generators. In this work a heating system was developed that uses exhaust gases to heat oil for use in a stationary diesel engine. In one experiment, the engine was evaluated with the help of a dynamometer, while in the other experiment the engine was connected to a generator and allowed to function for 300 hours. The data showed that the flow control was efficient to control temperature up to 150° C, and in the in field condition, system was efficient in the heating the fuel to 90° C. These data suggest that vegetal oil is a viable alternative for use in generator groups of isolated communities.

Keywords: biofuel, vegetable oils, and generation of energy.

Recebido para publicação em 29.10.2008 Aprovado em 23.12.2008

¹ Eng. Agrícola, Doutor, DSI-UFRR, inouegh@yahoo.com.br

² Agrônomo, Doutor, Professor do DEA-UFV, lbaiao@ufv.br

³ Eng. Florestal, santosladeira@hotmail.com

⁴ Eng. Mecânico, Doutor, Professor do DEA-UFV, ricardocapucio@ufv.br

⁵ Agrônomo, Doutor, professor do DEA-UFV, alacerda@ufv.br

INTRODUÇÃO

A utilização de energias alternativas ao petróleo tem grande importância para o cenário nacional e mundial. Estudos da área destacam-se no desenvolvimento de novas formas de geração de energia, assim como, no desenvolvimento de tecnologias para a sua utilização de forma mais eficiente. Para o Brasil, a forma de energia alternativa mais atraente tem sido a biomassa, destacando-se os resíduos da agroindústria, o álcool proveniente da cana-de-açúcar e, mais recentemente, os óleos vegetais.

O uso comercial do óleo vegetal em motores diesel é recente, entretanto, Rudolf Diesel, inventor do motor diesel, já sugeria a alimentação de motores diesel com o óleo de amendoim "*in natura*". Em toda história, os estudos sobre o uso do óleo vegetal, por diversas vezes, foram interrompidos devido à grande variação do custo do petróleo, que atingia altos preços e depois se reduziam. Os preços recordes do barril de petróleo acima de U\$140,00 (Junho de 2008) e a necessidade do uso de tecnologia ambientalmente mais adequadas incentivaram o desenvolvimento de novas tecnologias para a utilização do óleo vegetal nos motores diesel.

A utilização de óleos vegetais em substituição ao óleo diesel tem sido satisfatória, sendo o biodiesel, na forma de óleo vegetal "*in natura*" (bruta, refinada e degomada) e recentemente o Hbio, as formas mais usuais de obtenção de energia. A forma "*in natura*" pode ser uma alternativa viável, desde que sejam aplicadas técnicas adequadas para melhorar a injeção do combustível ou utilizando-se misturas com óleo diesel em proporções que deverão ser estudadas.

As técnicas freqüentemente utilizadas para alimentar um motor diesel com óleo vegetal em nível de até 100% são o aquecimento e a alternância de combustível. O aquecimento pode ser feito por meio de sistemas instalados nos reservatórios, utilizando como fonte de calor a resistência elétrica, cujo sistema é comercializado em alguns países da Europa, ou utilizando os fluidos do sistema de arrefecimento e dos gases de escape. A alternância de combustível tem por finalidade lavar as tubulações do sistema de alimentação com óleo diesel para evitar a formação de gomas no sistema e facilitar a partida a frio.

Fonseca (2007), cita os principais problemas do uso do óleo vegetal como combustível, o entupimento dos filtros e dos bicos injetores; depósitos de carvão nos pistões; aquecimento do motor; e problemas na partida do motor.

Machado (2003), utilizando um motor MWM modelo 229, com injeção direta e de quatro tempos, verificou que a viscosidade elevada do óleo de palma resultou em atomização pobre, depósitos de carbono, obstrução de linhas de combustível e dificuldades na partida em temperaturas baixas. Porém, quando aquecido a 100 °C, apresentou viscosidade mais baixa, melhor combustão, tendo sido verificada menor formação de depósitos.

Soares et al. (2001) avaliaram o desempenho de um motor MWM D229-6, com 90 HP a 1.800 rpm, 6 cilindros e injeção direta, alimentado com óleo de dendê, acoplado a um gerador elétrico. Aqueceram o combustível para reduzir a viscosidade e melhorar o rendimento do motor. As temperaturas utilizadas foram de 55, 80 e 100°C. Os autores verificaram que a viscosidade, afetou a qualidade da pulverização do combustível pelos bicos injetores e, quando aquecidos a 55°C, ocorreu acréscimo de 15% no consumo. Entretanto, quando o óleo foi aquecido a 80° e 100° C, o consumo decresceu e foi semelhante ao consumo do diesel, condição que proporcionou problemas de vedação interna para os bicos injetores, ocasionados, possivelmente, pela oxidação do óleo e formação de gomas, ou pela danificação do filtro de combustível, quando aquecidos a 100°C, sendo assim, a temperatura de 80°C foi considerada a mais adequada.

O sistema utilizado por Schlosser et. al. (2007), para produzir aquecimento do combustível e controle das temperaturas, era composto por uma resistência elétrica que podia atuar numa faixa de 50 até 99°C. O desempenho do motor alimentado com óleo de soja cru, aquecido a temperaturas próximas a 68°C, apresentou, sempre, valores médios de torque e potência superiores àqueles conduzidos a 57°C, sempre com consumo específico inferior. Os melhores resultados foram obtidos pela mistura composta por 70% de óleo de soja e 30% de óleo diesel, sob temperatura de 68°C; pelo óleo de soja puro a 68°C e pela mistura composta por 10% de óleo de soja e 90% de óleo diesel a 57°C.

Fonseca (2007) utilizou o óleo de dendê substituindo o óleo diesel em um motor Tramontini,

modelo R180, monocilíndrico refrigerado à água e acoplado a um alternador Kohlbach. Para o aquecimento do óleo de origem vegetal, utilizou duas resistências de 1000 W e um controlador de temperatura com calibração em 85°C. Concluiu-se que não houve alteração de potência do motor em nenhuma das cargas aplicadas.

Em um motor MWM, modelo TD229-EC6, Coelho et al. (2004) estudaram a utilização do óleo de dendê em um grupo gerador. O aquecimento foi realizado, inicialmente, utilizando-se um kit fabricado pela Biocar, importado da Alemanha, porém, constatou-se que o kit alemão apresentou deficiência na admissão do óleo na bomba injetora e na temperatura exigida para a queima, pois a temperatura de aquecimento do kit era de 65°C. A temperatura que proporcionou otimização no desempenho do motor, segundo os autores, esteve entre 85 e 90°C. Foi desenvolvido um novo dispositivo que, a princípio, aqueceu o óleo a 60°C no tambor, antes de ser admitido no tanque, que possuía uma serpentina na qual circulava a água de resfriamento do motor, facilitando a troca de calor e o aquecimento do óleo de dendê até, aproximadamente, 75°C.

Com base nos trabalhos consultados, verificou-se a importância do aquecimento do combustível para o bom funcionamento do motor, quando alimentado com óleo vegetal. Assim, nesta pesquisa teve-se como objetivo desenvolver e avaliar, em condições de trabalho, um sistema de aquecimento que facilitasse a injeção de óleo vegetal em um motor diesel acoplado a um gerador de energia elétrica.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA), do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

A necessidade de aquecer o combustível até 150°C e os problemas encontrados por Soares et al. (2001), justificaram o desenvolvimento de um sistema adaptado à tubulação de alta pressão, posicionado entre a bomba injetora e o bico injetor. Desta forma, a tubulação original do motor foi substituída por uma de maior comprimento, permitindo sua passagem pelo sistema de aquecimento. A tubulação do motor MWM modelo 229, encontrada no mercado, possibilitou que fosse efetuada esta adaptação.

Para o desenvolvimento do sistema de aquecimento, utilizaram-se tubos e conexões de ferro galvanizado de 1 1/4". O sistema de aquecimento foi desenvolvido no LMA e pode ser visualizado na Figura 1.

O princípio de funcionamento do sistema de aquecimento consistiu em duas tubulações paralelas, por onde ocorre o escoamento dos gases de escape. Uma tubulação foi utilizada para permitir o contato entre os gases de escape enquanto a tubulação de combustível promovia o aquecimento. A outra tubulação foi utilizada para a passagem dos gases de escape, não utilizados para o aquecimento do combustível, seguindo o escoamento normal (Figura 2). Foram instalados registros para o controle da temperatura do combustível por meio do escoamento dos gases. O sistema, tal como concebido, apresentou facilidade de construção e operação.

O óleo vegetal selecionado para uso no ensaio foi o óleo de soja degomado (ODS), fornecido pela CARAMURU ALIMENTOS e utilizado na composição do combustível, juntamente com o óleo diesel.

Para a avaliação do sistema de aquecimento, foram realizados dois experimentos. No primeiro experimento, o motor foi ensaiado utilizando um dinamômetro de rotação tipo transmissão, montado em berço, aplicando-se cargas de 18, 25, 31, 38, 45, 52, 58 e 67 N (Figura 3). O sistema de aquecimento foi montado em um motor Agrale, modelo M90, com potência nominal de 9,6 kW (13 cv) a 2.500 rpm, injeção direta, refrigerado a ar e taxa de compressão de 20:1.

As proporções de ODS, utilizadas para avaliar o sistema de aquecimento, foram 0, 5, 50, 75 e 100%, denominados, respectivamente, de OV0, OV5, OV50, OV75 e OV100. O óleo diesel, adquirido em posto de combustível, é classificado como diesel interiorano e contém uma mistura de 2% de biodiesel, denominado, assim, de B2.

As temperaturas de injeção do combustível, selecionadas para avaliar o sistema de aquecimento, foram de 90, 120 e 150°C. Para a medição das temperaturas, foi fixado um termopar do tipo K na tubulação de alta pressão do combustível, próximo ao bico injetor, tendo a leitura sido feita em um termômetro digital. Com o intuito de evitar a perda do calor para o ambiente, o termopar foi coberto por um isolante térmico (fibra de vidro) e uma camada de papel alumínio.



Figura 1. Sistema de aquecimento de combustível desenvolvido para motor estacionário Agrale, modelo M90.

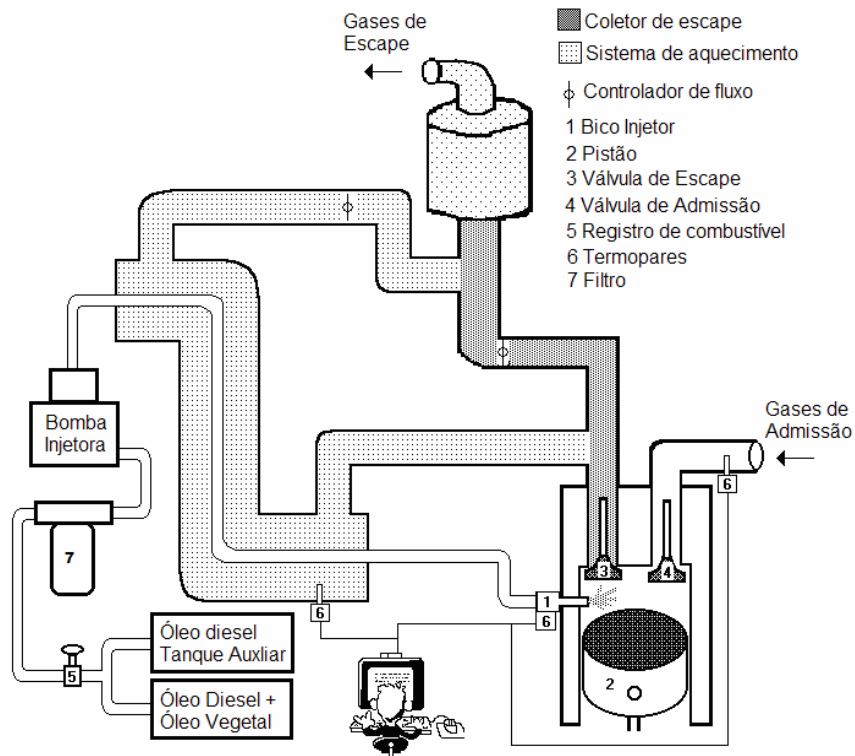


Figura 2. Sistema de aquecimento do combustível.

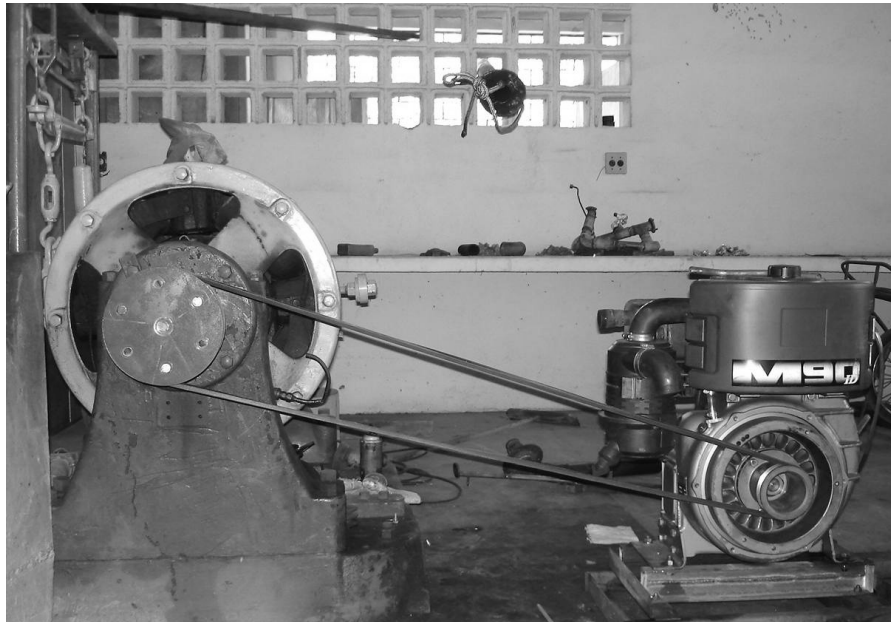


Figura 3. Detalhe do motor acoplado ao dinamômetro, tal como utilizado para realização dos ensaios de desempenho.

O motor foi aquecido por um período de até 15 minutos, sendo aplicada carga de frenagem, utilizando-se um dinamômetro, para estabilizar o regime de trabalho em torno de 2500 rpm (regime de trabalho do grupo gerador). Com a rotação estabilizada, ajustou-se a temperatura de injeção do combustível, conforme previamente estabelecido para execução do ensaio, por meio do controle do escoamento dos gases do escape do motor, estabelecendo-se um limite de, aproximadamente, 5% de erro. Logo após a estabilização, retirou-se a carga do motor e se iniciaram as avaliações de seu desempenho, medindo-se a temperatura para cada carga de frenagem aplicada pelo dinamômetro.

No segundo experimento, o nível de ODS no combustível foi de 50% (OV50), sendo aquecido a uma temperatura de injeção de 90°C, denominado OV50/90. Comparando-se os resultados de desempenho com os obtidos com o grupo gerador operando, em condições semelhantes, com óleo diesel, na condição original do motor, denominado de OV0/Tamb.

Para avaliar o aquecedor, foi utilizado um grupo gerador cedido pela AGRALE SA. O conjunto era composto por um motor Agrale, modelo M90, com potência nominal de 9,6 kW a 2.500 rpm, injeção direta, refrigerado a ar

com taxa de compressão de 20:1 e um gerador da fabricante Bambozzi, de 6 kVA, com funcionamento a 1800 rpm. No início deste experimento, o motor totalizava 100 horas trabalhadas em operações de dinamometria e o gerador não tinha sido submetido a nenhum trabalho anterior. O grupo gerador foi programado para operar por um período de 300 horas, com uma carga horária acima de 20 horas diárias.

Nas operações diárias, foi adotada a técnica de alternância de combustível, de forma que, no início e término das operações do grupo gerador, o motor era alimentado exclusivamente com óleo diesel. Assim, o motor era iniciado com óleo diesel durante os 15 minutos iniciais, sendo 5 minutos em rotação livre e 10 minutos em rotação com carga. Para desligar, o motor era alimentado com óleo diesel, durante 15 minutos, sendo 10 minutos com carga, para limpeza dos dutos do sistema de alimentação, e 5 minutos sem carga, para o seu resfriamento.

No intervalo em que o motor permaneceu desligado, foram realizadas as análises de temperatura, verificação do nível e adição do óleo lubrificante, se necessário, e abastecimento e manutenções preventivas sugeridas pelo fabricante do motor.



Figura 4. Vista geral da Estrutura montada para consumir a energia e acomodar o grupo gerador

Para dissipar a energia produzida pelo grupo gerador, foi montada uma estrutura no Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, constituída por lâmpadas incandescentes, com tensão de 220 V (Figura 4). A estrutura montada foi dividida em duas partes: a primeira composta por um circuito elétrico de trinta e dez bocais (Figura 4a e Figura 4b, respectivamente). Para o grupo gerador, foi construída uma estrutura para protegê-lo dos fatores ambientais, evitar acidentes e isolar, acusticamente, o ambiente de trabalho.

Na primeira parte, as lâmpadas foram acesas ao ser ligado o disjuntor e por meio das combinações de potências das 14

lâmpadas de 200 W e 16 lâmpadas de 100 W, sendo o consumo total aplicado de 4,4 kW.

Na segunda parte, foram instalados interruptores, sendo que 8 bocais podiam ser acesos dois a dois e outros dois bocais podiam ser acesos individualmente. Foram instaladas 9 lâmpadas de 200 W e 1 de 100 W, que ficou responsável pela aplicação do restante da carga de 1 kW, para completar a carga máxima estabelecida em 5,4 kW. A ativação das lâmpadas serviu para controlar a carga aplicada no gerador e, nesta segunda parte, as lâmpadas não utilizadas ficaram de reserva, sendo utilizadas no momento em que alguma lâmpada fosse danificada.



Figura 4A. Estrutura com 30 bocais



Figura 4B. Estrutura com 10 bocais

Durante o funcionamento do motor, foram monitoradas as temperaturas de admissão do ar, dos gases de escape e injeção do combustível e lubrificante, por meio de termopares tipo K conectados a um termômetro equipado com *datalogger*, instalado em estrutura construída para acomodar os equipamentos de monitoramento do experimento. As temperaturas foram coletadas em intervalos de 10 minutos, sendo a temperatura do ar obtida na Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola.

A temperatura de injeção foi controlada por meio do controle do escoamento dos gases, realizada no aquecedor. O controle foi realizado diariamente quando o valor da temperatura estava fora do limite pré-estabelecido de $\pm 5\%$ da temperatura selecionada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise da eficiência do sistema de aquecimento, em condições de laboratório, verificou-se que a rotação de trabalho do motor sugerida pelo fabricante, de 2500 rpm, ocorreu quando foi aplicada a carga de 52 N. Sob esta carga, verificou-se que as médias das temperaturas de injeção observadas no experimento foram semelhantes às das temperaturas previamente estabelecidas para a condição de trabalho do motor (Figura 5). Desta forma, confirmou-se o bom funcionamento

do sistema de controle de temperatura para o aquecimento do combustível, visando sua melhor queima na câmara de combustão.

As proporções de óleo vegetal não influenciaram o aquecimento do combustível, devido à regulagem do sistema no início de cada avaliação. O sistema de aquecimento desenvolvido pode aumentar a temperatura de injeção, sem causar danos ao filtro, e promover melhor pulverização do combustível, reduzindo a carbonização na câmara de combustão do motor, como levantado por Soares et al. (2000). O sistema pode aquecer qualquer proporção de combustível, não ocorrendo formação de gases inflamáveis, mesmo sob temperaturas superiores às do ponto de fulgor do óleo diesel.

O sistema de aquecimento em condição de trabalho do grupo gerador não apresentou grandes problemas. Na Figura 6, pode-se verificar a eficiência de aquecimento do combustível, levando em consideração os resultados da temperatura de injeção, na condição em que o motor operou com o óleo diesel e sem sistema de aquecimento, ou seja, na condição original do motor, evidenciando-se a influência do sistema de aquecimento. Verifica-se que a temperatura de injeção do combustível se manteve dentro do limite pré-estabelecido e teve um controle de fácil operação.

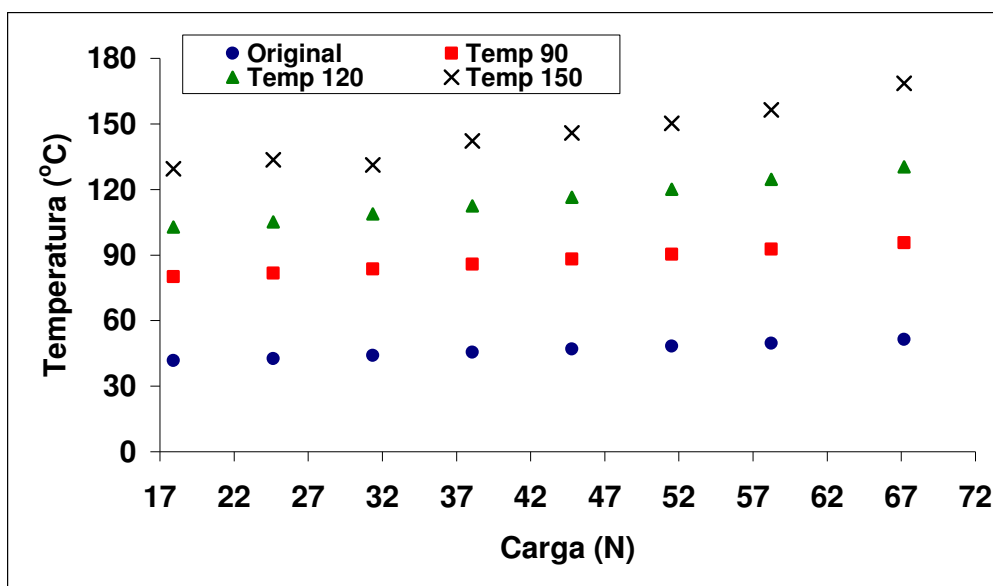


Figura 5. Médias observadas das temperaturas do óleo de injeção.

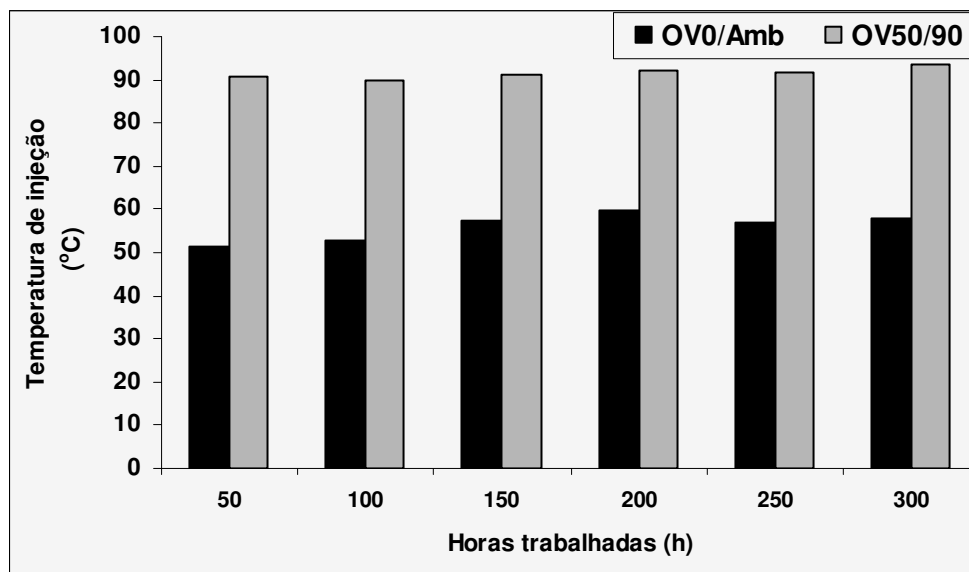


Figura 6. Média observadas das temperaturas do óleo de injeção, em condições de trabalho do motor.

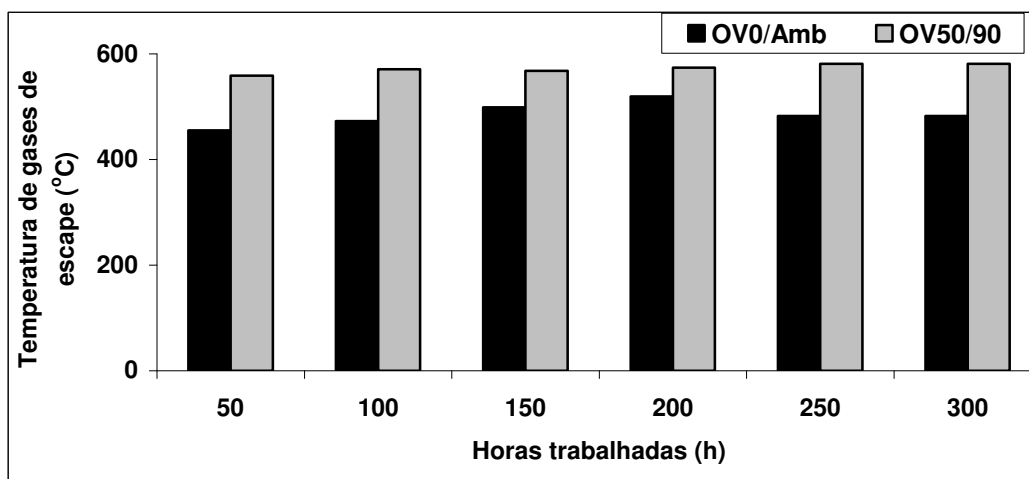


Figura 7. Médias observadas das temperaturas dos gases de escape, em condições de trabalho do motor.

Em relação aos gases de escape do motor, foram verificadas temperaturas médias maiores no tratamento em que o combustível foi aquecido a 90°C (Figura 7), porém isso não alteração na potência do motor.

As temperaturas médias do lubrificante não sofreram alterações em função da sua utilização (Figura 8). Pode-se verificar que, no tratamento OV50/90, houve maior estabilidade na temperatura, apresentando tendência de ser menor em relação ao tratamento OV0/amb.

Os gases de admissão do ar tenderam a apresentar médias de temperaturas superiores às obtidas no tratamento OV50/90 (Figura 9), entretanto, o mesmo não ocorreu na temperatura ambiente (Figura 10). A tendência pode ser explicada pela localização das tubulações de escape que podem ter aquecido o ar dentro do alojamento do grupo gerador.

Pode-se verificar ainda que, as temperaturas de admissão e do ambiente não influenciaram a temperatura de injeção de combustível, devido às regulagens diárias realizadas durante o trabalho do grupo gerador.

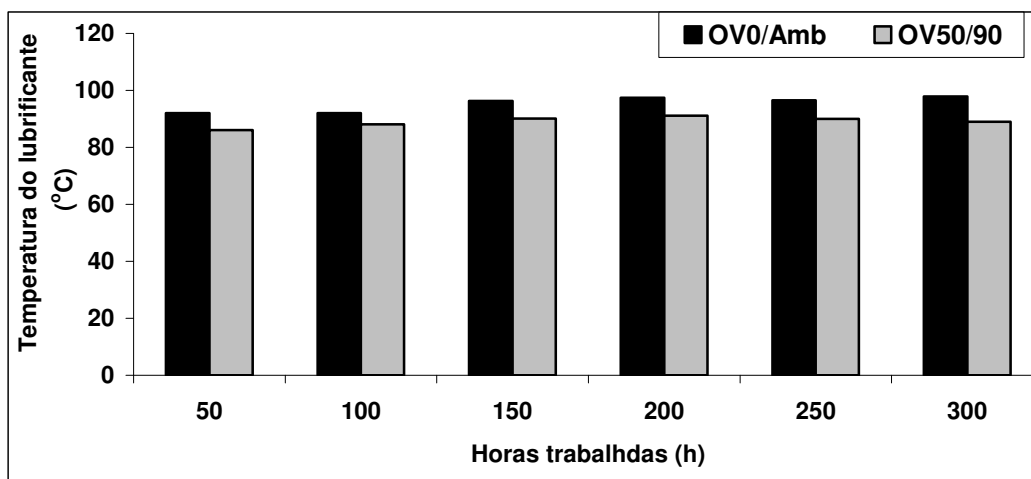


Figura 8. Média observadas das temperaturas do óleo lubrificante do motor, em condições de trabalho do motor.

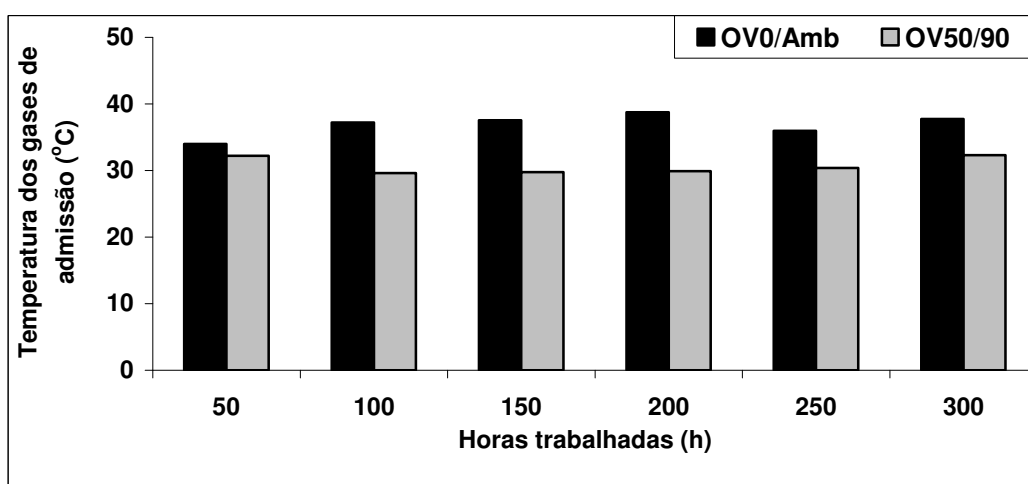


Figura 9. Médias observadas das temperaturas dos gases de admissão, em condição de trabalho.

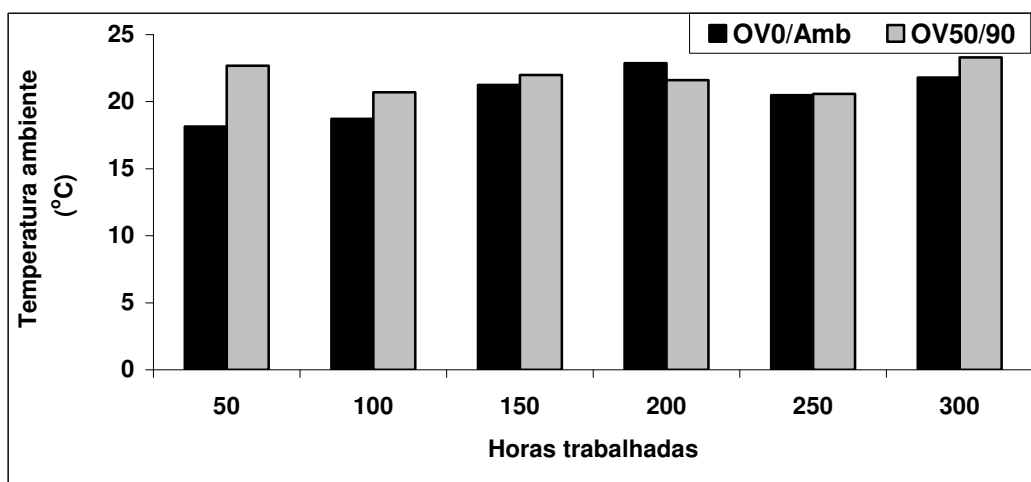


Figura 10. Médias observadas das temperaturas do ambiente, em condição de trabalho do motor.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O sistema de controle de fluxo foi eficiente na regulação da temperatura para o aquecimento do combustível, em qualquer proporção de óleo vegetal, até o limite de 150°C;
- Em condição de campo, no grupo gerador, o sistema apresentou eficiência no aquecimento do combustível a 90°C;

AGRADECIMENTO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Caramuru Alimentos S/A.

Agrale S/A.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COELHO, S.T.; SILVA O.C.; VELÁZQUEZ, S.M.S.G.; MONTEIRO M.B.C.A.; SILOTTO, C.E.G. A utilização de óleo de palma “in natura” como combustível em grupos

geradores a diesel. In 1º Congresso Internacional de Bioenergia, 2004. Campo Grande-MS. 2004.

FONSECA, C.H.M. **Substituição do Óleo Diesel por Combustível alternativo na Geração de Energia Elétrica.** Rio de Janeiro-RJ, 2007. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 91 p. (Dissertação de Mestrado).

MACHADO, P.R.M. **Avaliação de Desempenho do Óleo de Soja como Combustível para Motores Diesel.** Santa Maria-RS. 2003. Universidade Federal de Santa Maria. 212 p.(Tese de Doutorado).

SCHLOSSER, J.F.; MACHADO, P.R.M.; CAMARGO, M.N.. Desempenho de misturas pré-aquecidas de óleo de soja cru e diesel como combustível para motores agrícolas. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, 2007.

SOARES, F.G.; VIEIRA, L.S.R.; NASCIMENTO, M.V.G. Avaliação prática do emprego de óleos vegetais “in natura” em substituição ao diesel em grupos geradores. In XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia elétrica. **Anais...** Campinas, 2001.