II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010

CONVERSÃO DE MOTOR DIESEL PARA USO DE ÁLCOOL VAPORIZADO

Fabrício Borges de Oliveira, Marcelo Vandresen, Milton Pereira

Departamento Acadêmico de Metal- Mecânica – Curso Superior de Mecatrônica Industrial
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC
Av. Mauro Ramos 950 Centro Florianópolis – SC – CEP 88020300 - Brasil
Tel: +55 48 32210599 - E-mail: bofabricio@gmail.com, vandresen@ifsc.edu.br, eng.milton@gmail.com

RESUMO

Atualmente as preocupações com relação à poluição ambiental aumentam consideravelmente em todos os setores da sociedade e no setor automobilístico não é diferente. A preocupação com o excesso de emissões de gases nocivos fazem com o que sejam desenvolvidas novas tecnologias para que a poluição automotiva, no parque nacional, seja minimizada. Com isso, uma nova alternativa de conversão de motores Diesel é pesquisada a qual consiste no emprego de álcool vaporizado para alimentar um motor Diesel acoplado a um gerador de energia elétrica, que é uma alternativa muito utilizada para garatir que não haja falta de energia em diversos setores da sociedade. O maior beneficio desta aplicação consistem em diminuir o preço do KWh em horários de pico, podendo ainda ser empregada notransporte rodoviário e ferroviário.
O projeto visa o emprego de uma tecnologia de gerenciamento eletrônico de motores de fonte aberta (open source) que permita o desenvolvimento e emprego de um kit de conversão para ouso de álcool vaporizado em motores Diesel a um custo baixo, de fácil aquisição e manutenção.
A base de desenvolvimento deste projeto é a continuidade de pesquisa já desenvolvida no grupo de pesquisa onde foram desenvolvidos kits de fonte aberta (open souce) para a conversão de motores Diesel para o emprego de GNV através das tecnologias DDF. O artigo apresenta a configuração básica necessária para que o kit funcione nestas condições, bem como a estratégia de controle empregada na aplicação.

Palavras Chave: etanol, álcool vaporizado, ottolização, Diesel

1. INTRODUÇÃO

O aumento da discussão e preocupação mundial a respeito da emissão de poluentes e conseqüentemente do aquecimento global faz com o que se intensifiquem as pesquisas na linha de fontes de energia alternativas, uma das áreas mais atingidas por essas discussões é a de combustíveis automotivos.

A busca de combustíveis renováveis, com o intuito de redução ou até mesmo substituição de combustíveis fosseis eleva o Brasil como um dos focos mundiais de interesses relacionados à indústria de cana-de-açúcar e indústria energética. Além disso, somam-se as novas forças de expansão de motores bi-combustíveis caracterizado também pela ascensão do custo do petróleo, e pelo compromisso de redução de emissão de poluentes firmados pelos países desenvolvidos no protocolo de Kioto.

Este contexto possibilita melhor envolvimento de diversos setores da sociedade em melhores práticas ambientais no aumento da produção do etanol. O que se tem por certo é que o uso deste bicombustível em larga escala é de grande contribuição nos esforços de redução de poluentes.

Dentro desse contexto, esse artigo aborda o desenvolvimento de um sistema de pré-vaporização do etanol para trabalhar em motores Diesel. Para tanto, é necessário que o motor Diesel seja devidamente equipado e possua um sistema de alimentação e vaporização do álcool que será monitorado e controlado por um sistema eletrônico de gerenciamento do motor que permita a utilização de dois combustíveis, Diesel mais álcool vaporizado em motores Diesel do parque nacional, visando maior rendimento do motor e também uma melhor condição para diminuição de gases poluentes.

2. COMBUSTÍVEL UTILIZADOS

2.1 Etanol

O etanol também conhecido como álcool etílico é o mais comum dos alcoóis, é caracterizado por ser um composto orgânico de estrutura química tridimensional (CH3CH2OH), é obtido por meio de fermentação de amidos e outros açucares como a sacarose presente em abundância na cana de açúcar, uva e cevada, também pode ser obtido por processos sintéticos. Caracterizado por ser um líquido incolor, volátil, inflamável, dissolve na água e é um solvente fortemente polar devido à presença de oxigênio em sua estrutura molecular. Sua fórmula química é C2H6O, possui peso molecular de aproximadamente 46,07, tem seu ponto de fusão em -114ºC, ponto de ebulição 78,4ºC, pressão de vapor de aproximadamente 9 kPa, densidade de 810 kg/m3, poder calorífico de 6,100 kcal/kg. No Brasil a comercialização do álcool combustível é determinada segunda a resolução ANP numero 36, de 6.12.2005- DOU 7.12.2005. Segue uma descrição da produção do etanol a partir da cana de açúcar.

- Plantio e colheita: a safra da cana é de aproximadamente oito meses;
- Extração do caldo de cana: nessa etapa é feito a trituração e a moagem pelo menos duas vezes para aumentar a quantidade de caldo extraído.
- Fermentação: uma espécie de levedura é acrescentada à mistura para iniciar o processo de fermentação, os açucares são quebrados em etanol e em dióxido de carbono;
- destilação: ocorre com o produto da fermentação, quanto mais vezes destilado maior o teor alcoólico.

2.2 Diesel

Em 1897 Rudolf Diesel patenteou um dos mais importantes sistemas mecânicos da história da humanidade, um motor de combustão interna, que ocorre um fenômeno natural a partir de uma reação química entre um

óleo de origem vegetal ou derivado de petróleo e oxigênio, onde o ar é misturado com óleo, conferindo a mistura um alto poder de explosão.

O combustível óleo Diesel é um derivado do petróleo bruto, composto basicamente por hidrocarbonetos (compostos orgânicos que contém átomos de carbono e hidrogênio) apresenta também enxofre e nitrogênio. O óleo Diesel tem como característica o alto índice de cetana (o índice de cetana mensura a qualidade de ignição de um combustível e tem influência direta na partida do motor e no funcionamento sob carga) e em veículos motorizados, maior poluição ao meio ambiente, devido sua composição química e característica de queima, porém, apresenta maior segurança na prevenção de incêndio e em situações de perigo de fogo, isto se deve ao fato que o óleo Diesel é apenas inflamável pelo fogo a elevadas temperaturas e pressões.

3. MOTOR DIESEL QUATRO TEMPOS

Os motores Diesel apresentam uma robustez maior que motores ciclo Otto, devido ao seu funcionamento ser totalmente mecânico, precisando apenas de um motor de partida elétrico ou ignição mecânica através de manivelas para iniciar seu funcionamento, essa mecânica simples do motor Diesel o torna mais resistente que um motor do ciclo Otto.

O motor Diesel é um motor de combustão interna, em que a combustão do combustível se faz pelo aumento da temperatura provocado pela compressão, sendo em pressão constante. As principais diferenças entre os motores ciclo Otto e os motores ciclo Diesel se devem ao fato de os motores movidos a gasolina e álcool funcionarem com a taxa de compressão que varia de 8:1 a 12:1, e nos motores Diesel esta varia de 14:1 a 25:1, a combustão ocorre normalmente pela injeção direta do combustível na câmara de combustão, inflamando- se ao entrar em contato com o ar aquecido pela combustão. Ocorrem quatro tempos neste tipo de motor, assim como no motor do ciclo Otto:

I. No primeiro estágio do ciclo de combustão, o ar é aspirado para o interior do cilindro, penetrando nele através da válvula de admissão.
II. Durante o segundo estágio, chamado de compressão, o pistão sobe e comprime o ar dentro do cilindro.
III. No terceiro estágio o combustível é injetado, por um bomba mecânica que eleva a pressão do combustível para aproximadamente 25 MPa nos injetores, no ar comprimido a alta temperatura, entrando em combustão espontânea e forçando o cilindro para baixo.
IV. No último estágio, denominado de exaustão, os gases que se formam na fase anterior são expelidos do interior do cilindro pelo movimento ascendente do pistão.

A figura (1) apresenta o funcionamento dos quatro tempos de um motor a Diesel [1].

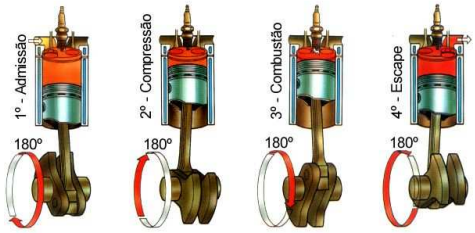

Figura 1 Funcionamento de um motor diesel quatro tempos

4. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DIESEL- ÁLCOOL VAPORIZADO

O projeto aborda um sistema de adição de álcool vaporizado em um motor do ciclo Diesel, para operar simultaneamente com óleo Diesel. O funcionamento consiste primeiramente na pré vaporização do álcool por um trocador de calor do tipo Shell and Tube, que funciona análogo ao sistema de serpentina em geladeiras. O sistema de vaporização de etanol reutiliza a água proveniente do resfriamento do motor Diesel para elevação da temperatura do etanol, nele o álcool é retirado do reservatório através de uma bomba de combustível comum, passa por um meio pré aquecido pela água do motor Diesel (Shell and tube) e com isso o etanol aquece até aproximadamente 75ºC. Sabendo- se que o etanol passa pelo processo de evaporação a 78,4ºC o etanol aquecido é então enviado para os bicos injetores, que devido à alta pressão do líquido e pela expansão que sofre ao passar pelos bicos injetores, se transforma em etanol vaporizado no coletor de admissão do motor Diesel. Simultaneamente a esse processo, o ar filtrado e inserido na câmera de combustão, misturando-se com o etanol. A mistura de ar mais etanol é admitida na câmara de combustão no ciclo de admissão. Ao final da compressão ocorre a injeção do óleo diesel. Com a diminuição súbita do volume na câmara e conseqüente aumento de temperatura e pressão na mistura de ar mais etanol vaporizado e diesel, ocorre a ignição desta mistura, gerando o trabalho necessário para o funcionamento do motor. A figura (2) ilustra o sistema *Shell and tube* para melhor visualização.

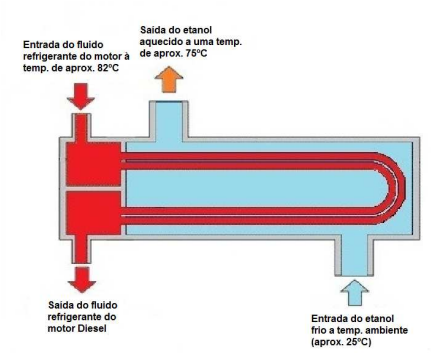

Figura 2 Sistema shell and tube

5. ALTERAÇÕES NO MOTOR PARA OPERAR NA MISTURA DIESEL- ETANOL VAPORIZADO

Um dos objetivos principais do projeto é possibilitar a flexibilidade de alteração do motor, alterar o menos possível para que, se necessário que o motor volte à sua configuração original, somente se remova os equipamentos adicionados.

Dentre as modificações necessárias para o emprego do etanol em motores Diesel está a instalação de sensores e atuadores característicos dos modernos sistemas de injeção eletrônica de combustível, normalmente encontrados nos motores ciclo Otto, como por exemplo, os sensores de rotação, sensores de temperatura de água e do ar de admissão, pressão absoluta do coletor de admissão e os atuadores de controle de marcha lenta, borboleta de admissão de ar, controle da bomba injetora e controle de injeção do etanol.

As principais alterações no motor ocorreram no coletor de admissão, onde estão instalados o corpo de borboleta e seu respectivo sensor denominado TPS (*throltle position sensor*). Esse foi adicionado ao motor através de uma adaptação projetada especificamente para essa finalidade, pois o motor original não possuía corpo de borboleta e era melhorar o gerenciamento da entrada de ar no motor. O equipamento selecionado foi o corpo de borboleta encontrado GM BLAZER V6, pois o diâmetro de entrada de ar do corpo de borboleta é o que mais se aproxima do diâmetro de entrada de ar do motor original. Outra modificação realizada no motor foi o acoplamento de uma roda fônica para captura da rotação do motor, onde está

acoplado o sensor de rotação. As outras alterações realizadas no motor, é importante citar: a furação realizada no coletor de admissão para entrada das tubulações vindas dos bicos injetores de álcool etílico vaporizado, e a adaptação de um motor de passo para controle da bomba injetora para regular quantidade de injeção de Diesel para vencer os transientes de carga no motor e manter estável o processo de combustão da mistura ar-etanol vaporizado. A figura (3) apresenta a adaptação do acoplamento do corpo de borboleta com coletor de admissão e bicos injetores.

Figura 3 Adaptação realizada no coletor de admissão do motor Diesel

6. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os testes foram realizados em um motor Diesel MWM modelo D 229-4, com bomba injetora mecânica Bosch e sem turboalimentação.

Para controle completo do sistema de injeção de combustível e admissão de álcool vaporizado + ar foi utilizado um módulo de injeção eletrônica Megasquirtr® versão 2.2. Este sistema pode gerenciar a injeção e ignição de motores de diversos cilindros e possui uma programação bastante amigável, permitindo assim controlar tanto a abertura da válvula de borboleta, os bicos injetores de etanol quanto a bomba injetora de Diesel, promovendo uma mistura estequiométrica para todos os regimes de carga aplicados ao motor, bem como os momentos de transição na entrada e saída de carga.

7. MEGASQUIRT®

Consiste em um sistema de injeção eletrônica de combustível totalmente programável e customizável, possui filosofia "*make yourself*". O controlador utilizado é o processador Motorola 68HC908 de 8 MHz.

O microcontrolador MegaSquirt-I™ possui um microcontrolador baseado em Flash Motorola MC68HC908GP32 operando em uma velocidade de barramento interna de 8 MHz. O controlador megasquirt® possui uma velocidade de clock mais rápida, combinada com linguagem de programação direta (assembly), que é conhecida por ser a linguagem mais perto da linguagem da máquina, isto torna o código mais rápido e eficiente, pois não precisa de compiladores para linguagem de alto nível.

A Figura 4 apresenta uma placa de circuito impresso megasquirt® montada no laboratório de pesquisa.

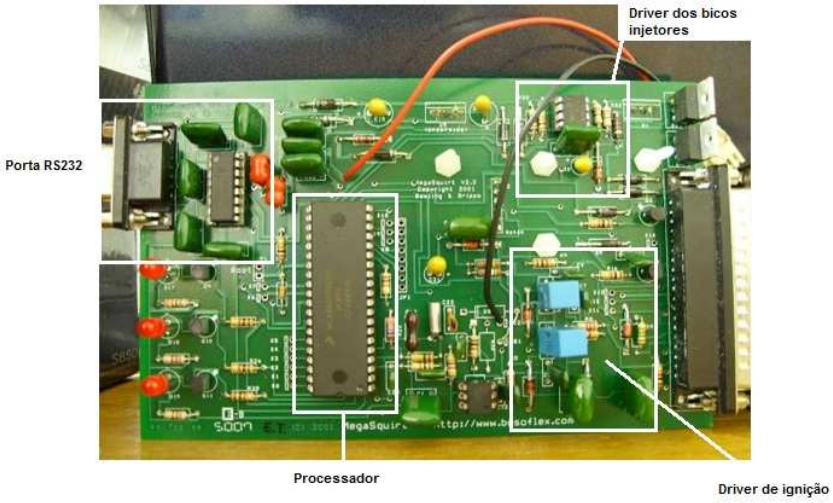

Figura 4 Placa de circuito impresso MegaSquirt

Dependendo da necessidade encontrada no gerenciamento do motor, o hardware MegaSquirt pode ser configurado dentro dos seus módulos para que atenda a todos os requisitos e especificações desejados. Para tanto, após a determinação das funções a serem executadas pelo sistema dedicado, um conjunto de circuitos interligados é proposto e a relação de componentes necessários para a sua montagem é disponibilizada.

O usuário pode então adquirir as placas prontas, placas sem componentes, ou mesmo produzir suas próprias placas e montar o sistema a partir de componentes eletrônicos encontrados facilmente no mercado.

O software de gerenciamento do sistema é de domínio público e possui uma interface amigável, possibilitando uma configuração rápida e direta do sistema. Todos os sinais de entrada e de saída da placa principal de gerenciamento são identificados de modo que o usuário tenha que realizar somente um mapeamento do chicote do motor que vai utilizar e preparar uma conexão de interface para ligar o chicote do motor no conector da placa. No caso do projeto em questão, o chicote está sendo produzido especificamente para o motor de teste e todas as ligações atendem ao esquema original proposto pela MegaSquirt. A figura 5 apresenta o software (MegaTune) utilizado para supervisão dos sensores.

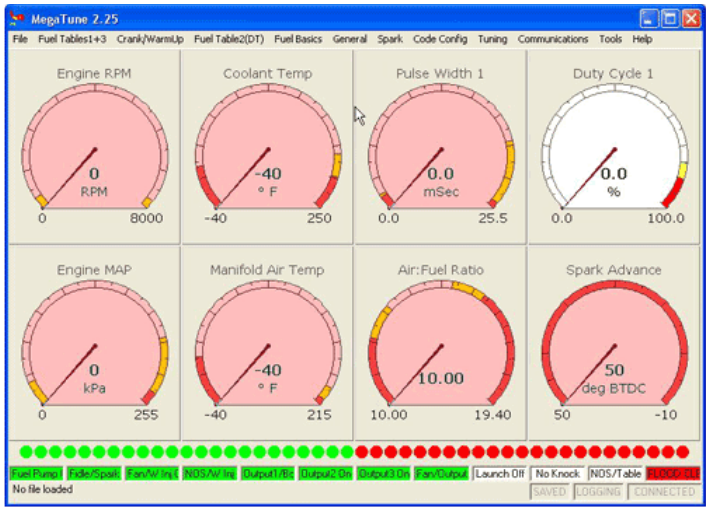

Figura 5 Software MegaTune utilizado na supervisão dos sensores

8. SENSORES MONITORADOS PELO MÓDULO DE INJEÇÃO ELETRÔNICA

O sistema MegaSquirt necessita da informação enviada por uma série de sensores para que possa otimizar o funcionamento do motor. Estes sensores são:

- sonda lambda: que tem como função gerar um sinal elétrico à injeção eletrônica do automóvel indicando a presença de oxigênio nos gases de escapamento, para que a unidade de comando possa variar a quantidade de combustível injetado, garantindo uma mistura ar/combustível ideal, o que reduz a emissão de gases poluentes;
- sensor de temperatura de ar: tem como função fazer a leitura da temperatura do ar do motor;
- sensor de temperatura de água : tem como função medir a temperatura da água no motor;
- sensor de rotação do motor : Este sensor envia um sinal pulsado (digital) cuja freqüência é proporcional à velocidade de rotação do motor (RPM). O sensor é um gerador de pulsos instalado na base do distribuidor ou montado, junto com uma roda dentada, no eixo do virabrequim.

Esta informação é utilizada para determinação do momento de injeção do combustível.

- Sensor de posição da borboleta : A posição da borboleta é uma medida da carga no motor. A informação enviada pelo sensor é utilizada para ajustar a relação ar/combustível: ajustar o enriquecimento nas acelerações de acordo com a velocidade com que se abre a borboleta; empobrecimento da mistura nas desacelerações.
- Sensor de pressão absoluta do coletor de admissão : Este sensor envia, à unidade de comando, um sinal elétrico cuja tensão ou freqüência, varia com a pressão absoluta do coletor de admissão. Com esta informação a unidade de comando conhece a carga do motor, e pode assim, ajustar a relação ar/combustível.

A figura 4 apresenta a ligação dos sensores gerenciados pelo módulo de injeção eletrônica, sugerido pelo especializado endereço eletrônico megasquirt (2*).

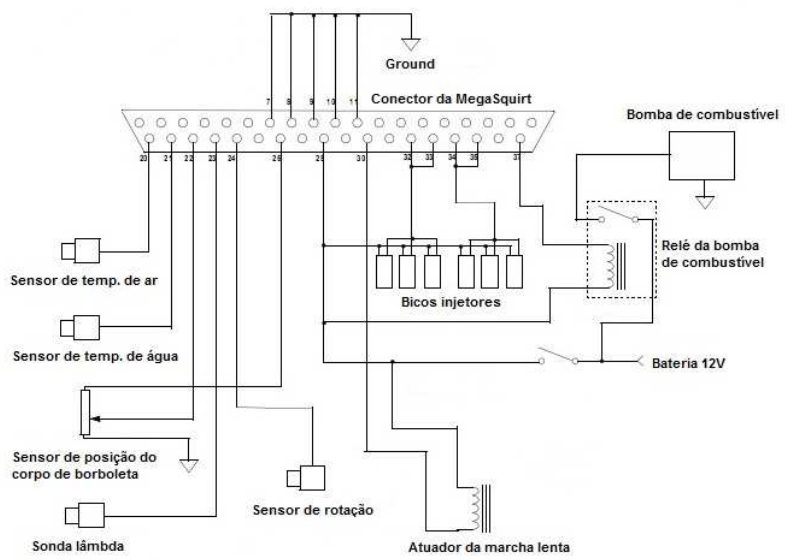

Figura 6. Esquemático de ligação dos sensores na placa de gerenciamento eletrônico

9. ESTRATÉGIA DE CONTROLE

O grande desafio a ser vencido no controle de um motor alimentado com Diesel mais álcool vaporizado para aplicação em geração de energia elétrica em motores geradores no parque nacional, que diz respeito à

condição de transiente, quando a carga do motor é alterada e este necessita manter a rotação constante enquanto suporta o novo regime de operação, ou seja, quando o motor é submetido à uma carga, o motor responde somente no diesel, pois ocorre uma queda na rotação, posteriormente quando a rotação é estabilizada ocorre a diminuição de injeção de diesel e aumento da injeção de etanol voltando ao funcionamento normal com rotação constante.

A solução quando há aumento abrupto da carga consiste em monitorar a velocidade de rotação do motor fechando a malha de controle em cima da alimentação pura do Diesel, que tem seu débito controlado por um atuador acionado por motor de passo. Quando a carga diminui ou estabiliza, a borboleta do TPS é acionada para reduzir a alimentação da mistura ar + etanol vaporizado e manter o regime de rotação constante.

Associado a tudo isso está à utilização de uma sonda Lambda de banda larga para controle da qualidade dos gases resultantes da queima, possibilitando que todo o processo de funcionamento seja realizado com aproveitamento máximo do potencial energético da mistura com conseqüente redução dos níveis de emissões geradas.

Para coleta das curvas de torque e potência foi utilizado um dinamômetro de bancada DINO MASTER. Neste equipamento é possível simular as diversas situações de operação de um motor operando em regime de rotação constante ou variável, bem como a simulação de transientes de carga (em rotação constante, aceleração ou desaceleração).

A figura 7 apresenta o dinamômetro Dino Master utilizado em laboratório.

Figura 7 Dinamômetro de bancada DINO MASTER

Para a análise de emissões foi utilizado o analisador de gases TM 132 tecnomotor para análise de gases resultantes da combustão. Os gases mais importantes para análise da combustão são:

- HC – Hidrocarbonetos: são gases resultantes da combustão incompleta, ou seja, combustível não queimado.
- CO – Monóxido de carbono: gás resultante da combustão onde a quantidade de ar é insuficiente para que todo o combustível seja queimado.
- CO_2 – Dióxido de carbono: é resultante direto da combustão, podendo ser usado como indicador da eficiência da combustão.
- O_2 – Oxigênio: o oxigênio é o gás responsável pela combustão. A quantidade existente no escapamento indica se a mistura está pobre ou rica.

Abaixo a imagem do analisador de gases tecnomotor TM132®.

Figura 8 Analisador de gases

10. CONCLUSÕES

Com o emprego do sistema que está sendo desenvolvido será possível o emprego dos geradores em outras situações que não apenas o suprimento em caso de falta de fornecimento ou para suprir demandas contratuais em horários de pico.

A relação de mistura ideal entre ar-etanol vaporizado- Diesel é controlada automaticamente em função da carga imposta ao motor e do parâmetro estipulado de fechamento da malha controlado pela sonda de banda larga. Este controle só é possível através da atuação conjunta e articulada dos bicos injetores de gás, atuador da borboleta de admissão e atuador da bomba injetora Diesel. Esta articulação, em tempo real, respondendo aos transientes resultantes da entrada e saída de cargas do sistema só é possível através de um sistema micro-controlado adaptado para esta função.

Com o emprego desse sistema é possível manter em operação diversos equipamentos que não poderiam ou deveriam estar em operação em função da sua característica de emissão de poluentes, não respeitando as modernas normas, em especial a EURO IV e superiores, que já estão em vigência em outros países.

A flexibilidade do uso do sistema ou o retorno para o emprego do Diesel possibilita o reaproveitando de sobras de etanol já que na falta do álcool pode retornar a operação a 100% Diesel.

Existe também a possibilidade do emprego de Biogás e também do controle mais acertado para que estes motores possam também operar com uma mistura de etanol, GNV ou biogás com Diesel ou Biodiesel, permitindo assim uma fonte de energia realmente renovável e sustentável, a um custo baixo e com uma tecnologia disponível gratuitamente.

REFERÊNCIAS

(1*) Imagem do funcionamento dos quatro tempos do motor Diesel http://www.envenenado.com.br/howwork/4tempos/motor01.html

(2*) Imagem do esquemático megasquirt disponibilizado por: http://www.bgsoflex.com/megasquirt.html

[1] LASTRES, L. F., “Desenvolvimento de sistema eletrônico de conversão de motores Mercedes-Benz OM-366 para uso de Gás Natural”, CENPES (Centro de Pesquisas da Petrobrás-RJ),1984.

[2]FILHO, F.F, “Desenpenho de um motor Diesel operando no Modo Bi-Conbustível Diesel-Álcool”, PUC-RJ (Departamento de Engenharia Mecânica, RJ), 2008.

[3]STOKES, J.; LAKE, T.H.; OSBORNE, R.J.; A Gasoline Engine Concept for Improved Fuel Economy – The lean Boost System, SAE publication 2000-01-2902 (2000)

[4]KOIKE, G. H. A. Análise, desenvolvimento e ensaio de um dispositivo experimental para fornecer álcool etílico hidratado como segundo combustível para motores do ciclo diesel. 2003. 111 f. Dissertação (Mestrado) – São Carlos.

[5]COHN, D.R.; BROMBERG, L.; HEYWOOD, J.B.; Direct Injection Ethanol Boosted Gasoline Engines: Biofuel Leveraging For Cost Effective Reduction of Oil Dependence and CO2 Emissions, MIT Laboratory for Energy and the Environment report LFEE 2005-001 (April 2005)

[6]DIAS, D. S. Estrutura de refino do petróleo e possibilidades de substituição do diesel. In: Seminário "Alternativas para uma política energética", São Paulo: CPFL, p.164-181, 1985.

[7]ECKLUND, E. E., BECTOLD, R. L., TIMBARIO, T. J., McCALLUM, P. W. State-of-the-Art Report on Use of Alcohols in Diesel Engines. SAE Technical Paper Series 840118, International Congress and Exposition, Detroit, Michigan (1994).

[8]SANTOS, A. S. Adição de compostos oxigenados a motores do ciclo OTTO e DIESEL. Projeto final de curso. Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.