

Revisão Literária

Resumo

O biogás proveniente da digestão anaeróbia de resíduos sólidos ou líquidos constitui uma fonte de energia alternativa. Sua composição é uma mistura de gases onde o metano e o dióxido de carbono estão em maiores proporções. Este estudo busca desenvolver uma discussão a respeito de características de motores que utilizam dessa fonte energética para seu funcionamento utilizando das informações sobre o uso de biogás em motores de combustão interna, descrevendo o funcionamento e sua eficiência, bem como a qualidade do biogás a ser utilizado. Os motores de combustão interna são muito utilizados por poderem operar com diferentes tipos de combustíveis tanto líquidos como gasosos. Para que o biogás possa ser utilizado como combustível, seja em motores, turbinas a gás ou microturbinas, é necessário identificar sua vazão, composição química e poder calorífico, parâmetros que determinam o real potencial de geração de energia elétrica. Para que o biogás seja utilizado em sua maior potência para a geração de energia elétrica são em geral necessárias poucas alterações em motores de ciclo Otto ou ciclo diesel, atualmente existentes no mercado.

Palavras-chave: bioenergia, biocombustíveis, motor, ciclo Otto.

Uso de biogás em motores de combustão interna

*Ana Beatryz Prenzier Suzuki*¹

*Dangela Maria Fernandes*²

*Rui Alexandre Pereira Faria*³

*Thais Cristina Morais Vidal*⁴

El uso de biogás en motores de combustión interna

Resumen

El biogás de la digestión anaerobia de residuos sólidos o líquidos es una fuente de energía alternativa. Su composición es una mezcla de gases donde el metano y dióxido de carbono son los componentes en mayor proporción. Este estudio busca desarrollar un análisis de las características de los motores que utilizan esta fuente de energía para su funcionamiento utilizando de las informaciones del uso de biogás en motores de combustión interna, con una descripción del funcionamiento y de su eficacia, así como la calidad del biogás que se utilizará. Los motores de combustión interna son ampliamente utilizados debido a que pueden operar con diferentes tipos de combustibles líquidos y gaseosos. Para el biogás puede ser utilizado como combustible, bien en los motores, turbinas de gas o microturbinas, se debe identificar su flujo, composición química y valor calórico, que son los parámetros que determinan el potencial real para la generación de electricidad. Para que lo biogás sea utilizado con la máxima eficiencia en la generación de energía eléctrica, se requieren pocos cambios en los motores de ciclo Otto o ciclo diesel, actualmente disponibles en lo mercado.

Palabras clave: bioenergía, biocombustibles, motor, ciclo de Otto.

Recebido em: 21 /12/2010

Aceito para publicação em: 04/03/2011

1 - Eng. Agrônoma, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura - UNIOESTE - Rua Universitária, 1220, Jd. Faculdade, Cascavel-PR, CEP 85819-110 - beatryzsuzuki@gmail.com.

2 - Eng. Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura - UNIOESTE - dangelafer@hotmail.com.

3 - Biólogo, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura - UNIOESTE - r.alexandrefaria@hotmail.com.

3 - Engenheira Agrônoma - UNESP - thaiscmorais@yahoo.com.br.

Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia v.4, n.1, Jan/Abr. (2011)

Print-ISSN 1983-6325 (On line) e-ISSN 1984-7548

Introdução

Segundo CORTEZ et al. (2008), atualmente em maior ou menor intensidade, a maioria dos países, sejam eles desenvolvidos ou não, está promovendo ações para que as energias alternativas renováveis tenham participação significativa em suas matrizes energéticas. A motivação para essa mudança de postura é a necessidade de redução do uso de derivados do petróleo e, conseqüentemente, a dependência energética desses países em relação aos países exportadores de petróleo. Além disso, a redução no consumo dos derivados do petróleo também diminui a emissão de gases promotores do efeito estufa. Dessa maneira, considera-se uma energia renovável quando as condições naturais

permitem sua reposição em um curto horizonte de tempo, a biomassa residual (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

Dessa forma temos como uma boa opção o biogás que pode ser queimado para geração de calor ou passado em um conjunto motor/gerador para geração de eletricidade. Este estudo busca desenvolver uma discussão a respeito de características de motores que utilizam dessa fonte energética para seu funcionamento utilizando das informações sobre o uso de biogás em motores de combustão interna, descrevendo o funcionamento e sua eficiência, bem como a qualidade do biogás a ser utilizado.

Caracterização e Discussões

Biogás

O biogás era simplesmente encarado como um sub-produto, obtido a partir da decomposição anaeróbia (sem presença de oxigênio) de resíduos orgânicos. No entanto, a crise ambiental, a ratificação do Protocolo de Kyoto, a implementação do MDL e o rápido desenvolvimento econômico dos últimos anos, bem como a crescente elevação do preço dos combustíveis convencionais, vêm aumentando as pesquisas e investimentos na produção de energia a partir de novas fontes alternativas e economicamente atrativas que possibilitem a preservação dos recursos naturais esgotáveis (SALOMON, 2007)

O biogás proveniente da digestão anaeróbia de resíduos sólidos ou líquidos constitui uma fonte de energia alternativa, bem como contribui em muito na solução dos problemas ambientais, pois reduz potencialmente os impactos da fonte poluidora. Sua composição é uma mistura de gases onde o metano e o dióxido de carbono estão em maiores proporções. O potencial energético do biogás está em função da quantidade de metano contida no gás que determina o seu poder calorífico. O teor de metano varia de 40 a 75% dependendo da fonte geradora. A quantidade de biogás produto da biodigestão corresponde somente a 2,0 a 4,0% do peso da matéria orgânica utilizada no processo (CASTANÓN, 2002).

A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como a água e o dióxido de carbono prejudica o processo de queima, o tornando menos eficiente. Estas substâncias absorvem parte de energia gerada. Além destes, também há a presença de gás sulfídrico (H_2S) que pode acarretar corrosão, diminuindo tanto o rendimento, quanto à vida útil do motor térmico utilizado. A maioria dos digestores anaeróbios produz um biogás que contém entre 0,3 a 2% de H_2S , observando-se também a presença de traços de nitrogênio e hidrogênio (COELHO, 2006 A). Para os autor, é importante se destacar que dependendo da aplicação, é recomendável a purificação do biogás removendo o H_2S , CO_2 , e a umidade. As práticas mais utilizadas são:

- Remoção de umidade: Pode ser feita com glicóis, com sílica gel, dentre outros, dependendo da utilização final do gás será estabelecido o grau de umidade aceitável.

- Remoção de Dióxido de Carbono (CO_2): Existe uma variedade de processos de remoção do CO_2 presente no gás natural utilizado pelas indústrias petroquímicas. Diferentes mecanismos conseguem separar alguns constituintes do gás, destacando-se dentre eles: os de absorção física e química, adsorção em uma superfície contínua, separação por membranas, separação criogênica e separação a partir de conversão química (reações químicas).

Motores de Combustão interna

Os motores de combustão interna são muito utilizados por poderem operar com diferentes tipos de combustíveis, tanto líquidos como gasosos. São máquinas térmicas nas quais a energia química do combustível se transforma em trabalho mecânico, sendo que o fluido de trabalho consiste dos produtos da combustão da mistura ar-combustível, e a câmara de combustão e o próprio processo de combustão estão integrados ao funcionamento geral de motor. Representam a tecnologia mais difundida dentre as máquinas térmicas, devido à sua simplicidade, robustez e alta relação potência/peso, o que faz com que estes acionadores sejam empregados em larga escala como elementos de propulsão para geração de eletricidade contínua, de back-up ou de carga de pico e para acionamento de bombas, compressores ou qualquer outro tipo de carga estacionária (SALOMON, 2007).

Os motores de combustão podem ser classificados como do tipo de COMBUSTÃO EXTERNA, no qual o fluido de trabalho está completamente separado da mistura ar/combustível, sendo o calor dos produtos da combustão transferido através das paredes de um reservatório ou caldeira, e do tipo de COMBUSTÃO INTERNA, no qual o fluido de trabalho consiste nos produtos da combustão da mistura de ar/combustível propriamente. Uma vantagem fundamental do motor alternativo de combustão interna, sobre as instalações de potência de outros tipos, consiste na ausência de trocadores de calor no circuito do fluido de trabalho, tal como a caldeira e condensador de uma instalação a vapor.

A ausência dessas peças não apenas conduz à simplificação mecânica, mas também elimina a perda inerente ao processo de transmissão de calor através de um trocador de área finita. O motor alternativo de combustão interna possui outra vantagem fundamental importante sobre a instalação a vapor ou turbina a gás, a saber: todas as peças podem trabalhar a temperaturas bem abaixo da máxima temperatura cíclica. Este detalhe possibilita o uso de temperaturas cíclicas bastante altas e torna possível alta eficiência (RAHDE, 2006)

Motores de combustão interna movidos a biogás

O biogás é um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado semelhante ao gás natural, composto, principalmente, por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear. Pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, contribuindo para a redução dos custos de produção. No Brasil, os biodigestores rurais vêm sendo utilizados, principalmente, para saneamento rural, tendo como subprodutos o biogás e o biofertilizante (ALMEIDA, 2006).

Para que o biogás possa ser utilizado como combustível, seja em motores, turbinas a gás ou microturbinas, é necessário identificar sua vazão, composição química e poder calorífico, parâmetros que determinam o real potencial de geração de energia elétrica, além de permitir dimensionar os processos de pré-tratamento do biogás, como a remoção de H₂S (ácido sulfídrico) e da umidade, com o propósito de evitar danos aos equipamentos da instalação e aumentar seu poder calorífico (COELHO, 2006 A).

A proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o tipo de digestor e o substrato (matéria orgânica a digerir). De qualquer forma, esta mistura é essencialmente constituída por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), estando o seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa. A formação do biogás envolve, basicamente, três etapas, sendo elas a fermentação, a acetogênese e a metanogênese (COELHO, 2006 B).

Fundamentado nos resultados de trabalhos citados pela literatura internacional a exemplo de ORTIZ-CAÑAVATE et al. (1981), BRANDINI et al. (1983), MITZLAFF (1988), dentre outros que obtiveram bons resultados de motores diesel operando com duplo combustível, SILVA (1995) desenvolveu um sistema de alimentação a duplo combustível, usando biogás purificado (metano) como combustível principal e diesel como combustível piloto, com o propósito de viabilizar o uso do biogás em máquinas automotivas no meio rural, na maioria equipadas com motores diesel, onde a produção de biogás é favorecida pela disponibilidade de resíduos agrícolas orgânicos. O referido sistema consta de uma válvula redutora e dosadora de baixa pressão que tem seu mecanismo

de controle de descarga de gás, associado ao mecanismo de aceleração da bomba injetora. Nesse sistema o gás metano é misturado ao ar admitido na entrada do coletor e a ignição se dá pela injeção piloto de diesel, sendo o motor controlado pela

carga de enchimento dos cilindros.

PERCORA (2006) comparou as tecnologias disponíveis comercialmente no que se diz respeito à conversão de energia conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1. Comparação de tecnologia disponível para conversão de energia (PERCORA, 2006)

	Motores a Gás	Motores Diesel: Biogás + Diesel	Turbinas a Gás para Biogás de Pequeno - Médio Porte	Microturbinas (CAPSTONES)
Potência	30kW - 20MW		500 kW - 150 MW	30 kW - 100 kW
Rendimento com biogás	30% a 34%	30% a 35%	20% a 30%	24% a 28%
Emissões de NOx	< 3000 ppm Motores com baixa emissão: < 250 ppm	Média em torno de 27 ppm	Média aprox. 35 a 50 ppm	< 9 ppm
Obs:		Necessita diesel com baixo teor de "S"		

Esses autores salientam que para a conversão energética do biogás os motores possuem maior eficiência. Já as turbinas a gás possuem maior eficiência global de conversão quando operadas em co-geração - calor e eletricidade.

SILVA (1995) salienta que os motores de combustão interna de queima pobre (conhecidos como Lean Burn Engine) utilizam o biogás diretamente, não necessitando de um tratamento sofisticado do combustível, apenas secagem e filtragem são suficientes. Esses motores têm o inconveniente de serem importados, com custos de investimento e manutenção mais elevados para o Brasil, porém são largamente utilizados nos EUA e na Europa.

A geração de energia elétrica é realizada pelo gerador acoplado diretamente ao motor. Para motores grandes ciclo Otto (importados), o custo de investimento do sistema de captação de biogás e geração de energia é de cerca de 1.200 U\$/kW instalado. O ciclo Rankine é composto por caldeira para gerar vapor de alta pressão e temperatura, turbina a vapor, condensador e bombas. É o mais antigo sistema de geração de energia e está muito presente com equipamentos e fornecedores no Brasil, devido ao setor sucroalcooleiro, que utiliza esses equipamentos inclusive para autoprodução de energia elétrica.

A região de Sertãozinho, no Estado de São Paulo, destaca-se como centro dessas tecnologias, concentrando empresas de engenharia, fabricantes de caldeiras e turbinas, entre outros equipamentos,

com custos de investimento cerca de 10% inferior ao de motores. Já nos casos de biogás de esterco a tecnologia é restrita a motores de combustão interna de pequeno porte (50 a 100 kW), suficientes para abastecer as fazendas com geração de energia elétrica ou até mesmo acionamento de bombas de irrigação. As esterqueiras são adaptadas com drenos que captam o biogás e geram energia em motores pequenos. Por se tratar de pequenas quantidades de esterco (em relação a aterros), é comum a utilização de gasômetros para armazenar o biogás quando a demanda por energia não é grande. Os equipamentos são na maioria das vezes de tecnologia nacional, utilizando-se motores de veículos adaptados, ou até mesmo novos, como é o caso da Mercedes Benz, que possui uma linha especial para biogás (ZALAUF, 2001).

O metano é o componente útil do biogás como ele pode ser usado como combustível. Apesar de seu alto nível de metano, o biogás tem alguns problemas inerentes. Primeiro, o ponto crítico do biogás é muito baixa. O ponto crítico de uma substância gasosa é o estado termodinâmico no qual o líquido e fases de gás de uma substância coexistem em equilíbrio (PRICE e CHEREMISINOFF, 1981).

O ponto crítico do metano é -82,5 °C e 46,7 bar. Isso significa que o biogás não pode ser liquefeito a uma temperatura acima de -82,5 graus Celsius, que é uma grande limitação na utilização de biogás (CONSTANT e NAVEAU, 1989). Informações sobre o ponto crítico de temperatura e pressão de alguns gases são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2. Ponto crítico de vários gases (CONSTANT e NAVEAU, 1989).

	H ₂	N ₂	NH ₃	O ₂	CH ₄	CO ₂	H ₂ S	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
Temperatura (C°)	-239,9	-147,1	132,4	-118,57	-82,5	31	100,4	96,6	152
Pressão (Bar)	13,1	34,2	113,9	50,8	46,7	73,85	90,1	42,5	37,9

Estes autores também descrevem o conteúdo energético de alguns gases como mostrado na tabela 3.

Basicamente, existem duas maneiras básicas de utilizar o biogás metano - (1) calor chamadas e (2) de combustão interna. Para o calor da flama aberta há vários aplicativos fáceis. O biogás pode simplesmente queimado, sem qualquer intenção de geração de calor ou pode se utilizar das chamadas para aquecimento. Devido ao potencial de dióxido de carbono e elevados níveis de sulfeto de hidrogênio, o gás não deve ser diretamente queimado em uma área fechada.

Tabela 3. Conteúdo Energético dos Gases* (CONSTANT e NAVEAU,1989)

Combustível	MJ kg ⁻¹	MJ m ⁻³
Metano	50,0	35,9
Biogás Purificado	45,0	32,3
Media do Biogás	30,0	21,5
Butano	45,7	118,5
Propano	46,4	90,9
Metanol	19,9	15,0 10 ³
Etanol	26,9	21,4 10 ³
Gasolina	45,1	33,3 10 ³
Diesel	42,1	34,5 10 ³

A utilização do biogás em motores de combustão interna é outra opção viável. Há dois tipos básicos de motores que podem ser executados com o biogás: Os de Ciclo Otto e os de Ciclo Diesel (MARCHAIM, 1992).

O motor de ciclo Otto inflama o combustível com uma vela de ignição e geralmente usa combustíveis voláteis, tais como a gasolina. Em teoria, o motor de ciclo Otto deve ser mais eficiente do que o motor de ciclo Diesel. Devido ao fato de que a taxa de compressão inibe a eficiência do motor de ciclo Otto, um motor de ciclo Diesel é considerado mais eficiente na prática. Os motores do ciclo Diesel inflamam o combustível usando a compressão. Em uma combinação correta da pressão e da temperatura, os combustíveis se auto incendiariam. Portanto, o motor deve ser projetado para o combustível destinado, com a

temperatura e pressão corretas. A razão ar-combustível estequiométricas encontrados em estudos anteriores foi de 5,71 m³ por m³ de ar de gás metano para produção de biogás de 60%. Esta relação deve ser seguida para a combustão completa de biogás (CONSTANT e NAVEAU, 1989)

Em se tratando de ignição comandada por gás puro, considera-se que a maioria de motores de ciclo Otto que utilizam gasolina, atualmente podem ser facilmente modificados para o funcionamento com gás natural, propano, metano comprimidos. (EMCON ASSOCIATES, 1980).

Os motores diesel podem ser modificados para operar com biogás por duas diferentes maneiras: operação bi-combustível com ignição por injeção de combustível piloto, e funcionamento a gás somente com ignição por faísca (MIHIC, 2004).

Para NAVEAU e CONSTANT (1989), existem duas modificações que devem ser feitas para garantir o funcionamento adequado da mudança de gasolina para biogás. Primeiro, um gás carburador deve ser instalado, em seguida modificado conforme mencionado acima para compensar a velocidade lenta da chama aumentar o consumo de ar da queima de metano. Em segundo lugar, velas de ignição com temperaturas elevadas devem ser instaladas para combater a combustão de alta temperatura do metano

A modificação de um motor Otto é relativamente fácil, pois o motor é projetado para funcionar com uma mistura ar / combustível com ignição por faísca. A modificação básica é o fornecimento de ar / misturador de gás, em vez de carburador. O controle do motor é feito pela variação da mistura de abastecimento. Um aumento na taxa de compressão é desejável, e prevê um aumento do processo a partir do ponto de vista termo-dinâmico. Assim, menor consumo específico de combustível e maior potência pode ser esperado. A alteração é permanente e impede o uso do combustível original do motor. O ajuste do ponto de ignição em relação à velocidade de combustão lenta do biogás não impõe nenhum problema específico - como um padrão de ignição,

o sistema prevê ajustes em uma escala suficientemente ampla (MIHIC, 2004).

Um segundo tipo de motor que pode utilizar o biogás é o dual modificado motor Ciclo Diesel. Devido à velocidade lenta de combustão do metano, motores de baixa velocidade, motores de ciclo diesel são mais propícios à utilização biogás (NAVEAU e CONSTANT (1989). Estes sistemas são projetados para queimar óleo diesel, enquanto queimam biogás. Isto dá uma flexibilidade quanto à origem do combustível e aumenta a eficiência do queima de biogás. No entanto, esse sistema requer que o combustível diesel seja adicionado regularmente e também de uma maior manutenção.

Devido a existência de um regulador na maioria dos motores diesel de controle automático de velocidade/potência pode ser feito alterando a quantidade de injeção de combustível nos motores diesel, para que o biogás não flua descontroladamente. A substituição de combustível diesel por biogás é menos substancial no presente caso. Existem certas limitações, o motor bi-combustível não pode funcionar sem o fornecimento de diesel para a ignição, os jatos de injeção de combustível podem superaquecer quando o fluxo de combustível diesel estiver reduzido a 10% ou 15% do fluxo normal. Para MIHIC (2004) Os motores maiores bi-combustível circulam combustível diesel extra através do bico injetor para resfriamento; até que o bico de injeção de combustível seja afetado, porém, cada projeto deve ser específico, devido ao material e carga térmica de cada motor e, portanto, varia de caso para caso. Uma verificação do bico injetor após 500 horas da operação no combustível duplo é recomendada.

O último tipo de motor que pode ser usado com o biogás é o motor de ciclo diesel modificado para utilização de gás puro. As principais modificações do motor diesel incluem: a remoção dos injetores, além de velas de ignição, um gás carburador, e diminuição da taxa de compressão (NAVEAU e CONSTANT (1989). Mesmo que esse seja o caminho mais complicado, esse se apresenta possivelmente como o motor mais adequado para a utilização com biogás.

Esta modificação envolve uma operação principal no motor e a disponibilidade de

determinadas peças, que terão que ser mudadas. Estas alterações são: a remoção da bomba injetora, e do bico injetor, redução da taxa de compressão para 10...12, montagem de um sistema de ignição com distribuidor, bobina de ignição, velas de ignição e de alimentação elétrica (alternador) e um dispositivo de mistura para o fornecimento de uma mistura ar / combustível constante.

Em qualquer caso energia mecânica pode ser adquirido por motor de combustão interna. Como um sistema gerador pode ser facilmente conectado esta situação é ideal. Uma das principais vantagens de um grupo gerador de combustão interna é produzir eletricidade a um nível constante. A eletricidade é mais facilmente usada para funções diferentes e pode ser vendida a empresas de geração de energia local (HERRINGSHAW, 2009).

Motores Otto a biogás, quando modificados de motores Otto usando gasolina combustível, são encontrados para produzir menos energia do que na versão a gasolina. A razão é diminuição da eficiência volumétrica como um combustível gasoso ocupa a maior parte do volume a mistura é sugada para dentro do motor de combustível líquido e desloca o ar em conformidade. O combustível líquido tem uma energia maior em volume do que o biogás (MIHIC, 2004).

Um motor a gás, especialmente quando operando com biogás, com uma grande proporção de dióxido de carbono inútil, pode sugar uma quantidade reduzida de ar apenas para permitir espaço para a quantidade necessária de gás combustível. Como em motores Otto uma relação de excesso de ar $\lambda=1 \pm 0.1$ tem que ser mantido e os dutos de admissão e de coletores são dimensionados para funcionar com gasolina, a energia.

A taxa de diminuição do poder depende do calor volumétrico do gás, por exemplo, biogás com 70% CH₄ tem uma maior poder calorífico volumétrico de biogás, do que com apenas 50% CH₄. O poder de saída de um motor é, portanto, maior em operação em gases com alto valor calórico do que em funcionamento em gases "fraco". O biogás (60% CH₄), com um poder calorífico de $H_u = 25\ 000\ \text{kJ} / \text{Nm}^3$ gamas como um gás de médio e fraco provoca a redução de energia de cerca de 20% (metano ou gás natural purificado 10%, e GLP 5%). O principal efeito da redução do poder é que ele precisa ser bem

considerado na seleção da classe de potência de um adequado motor para uma determinada aplicação com uma demanda de potência especificada (MARCHAIM, 1992).

A potência do motor e controle de velocidade é realizada por uma variação do fornecimento de mistura ar / combustível do motor. Isto é conseguido pelo funcionamento de uma válvula de borboleta situada entre o real dispositivo de mistura de admissão do motor. Fechando os efeitos da válvula de borboleta, há uma queda de pressão (Efeito estrangulamento) no fluxo da mistura, através da qual o cilindro é preenchido com uma mistura de baixa pressão, conseqüentemente com menor quantidade de ar / combustível na mistura em uma base de massa e energia. Como resultado, a saída do poder, a pressão efetiva média e a diminuição da eficiência no controle operação.

O efeito da diminuição da eficiência é realizado em um aumento do consumo específico de combustível na operação de carga parcial. Para compensar os efeitos acima mencionados, os motores devem ser operados em velocidades médias, mas com acelerador aberto. Isso requer uma combinação adequada com as exigências de velocidade e potência da máquina acionada (MIHIC, 2004).

Segundo MUÑOS et al. (2000), em ensaios realizados com motor Honda 270 cm³, alimentado com biogás bruto e mantidos o ponto de ignição e a taxa de compressão da gasolina, as curvas de

torque e potência tiveram um decréscimo de 50% em relação ao combustível original. HUANGA e CROOKES (1998) simularam biogás injetando metano e gás carbônico em proporções diferentes em um motor de ciclo Otto. A quantidade de gás que era injetada no motor era definida respeitando as proporções formadas nos biodigestores. Definiram como sendo a melhor taxa de compressão 13:1 por atender a todas as misturas. Para uma taxa de 15:1 em algumas composições, houve detonação.

Conforme CAÑAVATE e BAADER (1988), a taxa de compressão não pode exceder a 12:1, pois a composição do biogás não é constante, e isto pode levar à detonação em alguns momentos. Já o ponto de ignição deve ser avançado, pois a velocidade de combustão do biogás é mais lenta.

Segundo SOUZA (2004), a maior potência do motor de ciclo Otto utilizado para o biogás foi obtida quando se utilizou a taxa de compressão 12,5:1, mesclador de gases longo e ponto de ignição adiantado em 45°, pois nestas condições obteve-se a potência máxima 100% superior ao original biogás. Os ganhos com a utilização do GNV em substituição ao biogás chegam a 15% na rotação de 3600 rpm onde o motor vai gerar energia elétrica. O ponto de ignição e taxa de compressão com os melhores resultados obtidos para o biogás também são os mesmos utilizados com o GNV.

Considerações finais

A utilização do biogás em motores diesel, tal como em frotas coletoras, além de diminuir o consumo de diesel utilizado em aproximadamente 30%, acaba por acarretar ganhos econômicos e ambientais para a localidade onde é utilizado.

Para converter a energia química do biogás em energia elétrica, é necessário que o biogás produzido apresente composição e características adequadas à tecnologia de conversão empregada. O biogás é um combustível com todas as condições técnicas e econômicas para ser explorado no Brasil. Atualmente está inserido no programa do governo

de incentivo às fontes alternativas de energia (PROINFA), segundo o qual o biogás se viabiliza com um preço de cerca de R\$ 170 / MWh e com os créditos de carbono (do Protocolo de Kyoto), essenciais para os investidores e para a viabilização de projetos.

Para que o biogás seja utilizado em sua maior potência para a geração de energia elétrica são em geral necessárias poucas alterações em motores de ciclo Otto ou ciclo diesel, atualmente existentes no mercado.

Referencias

Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia v.4, n.1, Jan/Abr. (2011)
Print-ISSN 1983-6325 (On line) e-ISSN 1984-7548

- ALMEIDA, G.V.B.P. **Biodigestão Anaeróbica na Suinocultura**. Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU, São Paulo, 2006, 125p.
- BRANDINI, A.; FINCH, E. O.; SILVA, J.G.; SHUNK, S.P. Fontes alternativas de energia para máquinas agrícolas. **In: Anais do Simpósio de Engenharia Automotiva**. Brasília: STI/CIT, 1983, p.283-298.
- CAÑAVATE, O.J.; BAADER, W. **Biogas as fuel for internal combustion engines**. ASAE, 1988, 87p.
- CASTANÓN, N.J.B. **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais**. Material do Curso: Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e utilização, Universidade de São Paulo, São Paulo (2002). n.p.
- COELHO, S.T. A conversão da fonte renovável biogás em energia. **In: Anais do Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio**. Brasília – DF, 2006b. p. 145-149
- COELHO, S.T. Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente do Tratamento de Esgoto Utilizando um Grupo Gerador de 18 kW. **In: Anais do Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio**. Brasília – DF, 2006 A. p.140-144.
- CONSTANT, M., NAVEAU, H. **Biogas: End Use in the European Community**. New York: Elsevier Science Publishing Co., 1989. 211p.
- CORTEZ, L.A.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.O. **Biomassa Para Energia**. Campinas: UNICAMP, 2008. 103p.
- EMCON ASSOCIATES. Methane Generation and Recovery from Landfills. **Annual Arbor Science Publishers**, p.81-93, 1980.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. 3 ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008. 141p.
- HERRINGSHAW, B. A study of biogas utilization efficiency highlighting international combustion electrical generator units. **College of Food, Agricultural, and Biological Engineering**, p.33-39, 2009.
- HUANG, J.; CROOKES, R.J. Assessment of simulated biogas as a fuel for the spark ignition engine. **Fuel**, v.77, n.15, p.1793-1801. 1998
- MARCHAIM, U. **Biogas Processes for Sustainable Development**. Rome: FAO Ag-Services Bulletin, 1992. 83p.
- MIHIC, S. Biogas Fuel for internal combustion Engines, **Annals of Faculty Engineering Hunedoara**. Tome 2, facicule 3, 2004. 411p.
- MITZLAFF, K.Van. **Engines for biogas**. Viesbaden. Veiweg, 1988. 133p.
- MUNÓZ, M; MORENO, F.; MOREA-ROY, J.; RUIZ, J.; ARAUZO, J. Low heating value gas on spark ignition engines. **Biomass e bioenergy**. v.18, p.431-439, 2000.
- ORTIZ-CAÑAVATE, J.; HILLS, D.J.; CHANCELLOR, W.J. Diesel engine modification to operate on biogas. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph. 808-13, 1981.
- PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP**. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Instituto de Eletrotécnica e Energia). São Paulo, USP, 2006.108f.
- PRINCE, E.; CHEREMISINOFF, P.; Biogas Production and Utilization, Annual Arbor Science Publishers, p.162-177, 1981.
- RAHDE, S.B. **Motores de Combustão interna**. Dept. Engenharia Mecânica PUC/PR, Curitiba 2006. n.pag.
- SALOMON, K.R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Itajubá, UFltajibá-MG, 2007. 128f.

SILVA, F.M. **Sistema de alimentação de motores com duplo combustível - metano e diesel.** Tese (Doutorado Mecânica). São Carlos: EESC/USP, 1995, 121f.

SOUZA, J., SOUZA, N.M.S., MACHADO, P.M., Desempenho de um motor ciclo otto utilizando biogás como combustível. **In: Anais 5º Encontro de Energia no Meio Rural:** 2004.http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022004000100044&script=sci_arttext, acesso em 16/11/2010 as 20:43.

ZULAUF, W.E. **Sistema Energético - Ambiental GBQ de lixo constituído de captação, de transporte condensação, sucção, tratamento e aproveitamento de biogás emanado de aterros de lixo.** INPI Patente nº PI0101887-6, São Paulo, 2001.