



ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE BIOGÁS GERADO A PARTIR DE DEJETOS BOVINOS EM MICROTURBINAS PARA FINS DE GERAÇÃO, COGERAÇÃO E TRIGERAÇÃO DE ENERGIA

Marcio Yukio Hirano¹

Celso Luiz da Silva²

RESUMO

O uso de biodigestores tem se tornado uma alternativa importante para a disposição adequada dos resíduos orgânicos agropecuários, servindo de solução para alguns problemas ambientais e sanitários. Além disso, o processo de biodigestão fornece subprodutos de grande valor comercial, como o biogás e o biofertilizante. A geração de biogás a partir de resíduos agropecuários, e seu uso em sistemas de geração de energia tem despertado grande interesse no meio rural, pois possibilita suprir integralmente ou em grande parcela a demanda energética da propriedade, reduzindo os custos de produção. O advento da tecnologia trouxe novas formas de conversão energética do biogás, como o uso de microturbinas específicas para serem abastecidas com o biogás oriundo da decomposição da matéria orgânica em biodigestores, pois este apresenta baixo nível de metano em sua composição, e elevado grau de impurezas, tais como gás sulfídrico, que são prejudiciais aos equipamentos e diminuem o poder calorífico do biogás. O uso de microturbinas trás outras vantagens como baixas emissões de poluentes, grande flexibilidade de combustível e baixa manutenção. Este trabalho apresenta uma análise sobre a viabilidade do uso de biogás, gerado a partir de dejetos bovinos, em microturbinas para a geração de energia elétrica. Trás também uma avaliação do potencial energético que cada animal possui em diversas situações de uso do biogás, e as formas de aproveitamento energético dos gases de escape da microturbina. Também realiza uma avaliação sobre a economia de energia elétrica que o uso do biogás agrega a propriedades.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Microturbina, Geração de Energia

ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF USING BIOGAS FROM CATTLE MANURE IN MICRO TURBINES FOR PURPOSES OF

¹ Aluno de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista - Campus Bauru - Departamento de Engenharia Mecânica. mayuhi@hotmail.com

² Professor Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista - Campus Bauru - Departamento de Engenharia Mecânica. celsos@feb.unesp.br



GENERATION, COGENERATION AND TRIGENERATION ENERGY

ABSTRACT

The use of digesters has become an important alternative for the proper disposal of organic agricultural wastes, serving as a solution to some environmental and health problems. Furthermore, the process of digestion provides commercially valuable by products such as biogas and bio fertilizer. The generation of biogas from agricultural waste, and its use in power generation systems has aroused great interest in rural areas because it enables supply in whole or in large part the energy demand of ownership by reducing production costs. The advent of technology has brought new forms of energy conversion of biogas, as the use of micro turbines specifies to be fuelled with biogas derived from the decomposition of organic matter in digesters, since it has a low level of methane in its composition, and high degree of impurities such as hydrogen sulphide, which are harmful to equipment and reduce the calorific value of biogas. The use of micro turbines behind other advantages like low emissions, great fuel flexibility and low maintenance. This paper presents an analysis of the feasibility of using biogas generated from cattle manure in micro turbines to generate electricity. Behind also an assessment of the energy potential that each animal has on various uses of biogas, and forms of energy recovery from the exhaust gases of the micro turbine. Also conducts an evaluation of the energy savings that the use of biogas aggregates properties.

KEY-WORDS: *Biogas, Micro turbine, Power Generation.*

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL USO DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO EN MICRO TURBINAS PARA FINES DE GENERACIÓN, COGENERACIÓN Y TRIGENERACIÓN DE ENERGÍA

RESUMEN

El uso de digestores se ha convertido en una importante alternativa para la eliminación adecuada de los desechos agrícolas orgánicos, que sirve como una solución a algunos problemas ambientales y de salud. Por otra parte, el proceso de la digestión proporciona subproductos con valor comercial como el biogás y biofertilizante. La generación de biogás a partir de residuos agrícolas, y su uso en los sistemas de generación de energía ha despertado un gran interés en las zonas rurales, ya que permite la oferta en su totalidad o en gran parte de la demanda energética de la propiedad mediante la reducción de los costos de producción. El advenimiento de la tecnología ha traído nuevas formas de conversión de energía de biogás, como el uso de micro turbinas específica para ser alimentado con biogás derivados de la descomposición de materia orgánica en digestores, ya que tiene un bajo nivel de metano en su composición, y el alto grado de impurezas tales como sulfuro de hidrógeno, que son dañinas para los equipos y reducir el valor calorífico del biogás. El uso de micro turbinas detrás de otras ventajas como bajas emisiones, una gran flexibilidad de combustible y bajo mantenimiento. Este artículo presenta un análisis de la viabilidad del uso de biogás generado a partir de estiércol de ganado en micro turbinas para generar electricidad. Atrás también una evaluación del potencial energético que cada animal tiene en diversos usos del biogás, y las formas de recuperación de energía de los gases de escape de la micro turbina. También lleva a cabo una evaluación de los ahorros de energía que el uso de biogás puede agregar en las propiedades.

PALABRAS-CLAVE: *Biogás, Micro turbina, Generación de Energía*



Introdução

O desenvolvimento tecnológico e o aumento da produção industrial do país têm culminado no aumento da demanda energética, sendo necessários novos investimentos para suprir essa demanda. De acordo com dados e projeções realizados em 2014, o país possui uma demanda de mais de 66 GWh de energia elétrica. De acordo com estimativas realizadas no primeiro semestre de 2014, pela AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANAEL), o país ainda depende basicamente da hidroeletricidade e dos combustíveis fósseis, como petróleo, gás natural e carvão mineral, os quais representam respectivamente cerca de 64 % e 19 % da matriz energética do país. Já a biomassa representa cerca de 8%, e a energia eólica próxima a 2%. A elevada dependência dessas fontes energéticas expõe o país a uma fragilidade, pois as fontes convencionais de energia como as hidroelétricas têm sofrido com a falta de chuvas e seus reservatórios estão se esgotando, minimizando ou mesmo tornando nula a produção de eletricidade em algumas usinas. Uma medida a médio e longo prazo seria a projeção e construção de novas usinas hidroelétricas, entretanto estes projetos vêm sofrendo inúmeros impasses devido às suas localizações (a energia produzida precisa percorrer longas distâncias para chegar aos grandes centros consumidores), e aos impactos ambientais que podem causar.

Em curto prazo, o país dispõe de termoelétricas, que são soluções imediatas para a falta de energia elétrica, entretanto o uso de combustíveis fósseis encarece a energia produzida, além de provocar diversos problemas, como: o aumento das emissões de gases poluentes, o aumento do efeito estufa, e a diminuição e o esgotamento das reservas de petróleo e gás. Nesse âmbito, o desenvolvimento tecnológico e o uso de fontes alternativas de energia se tornam promissoras, pois além de poderem suprir a demanda de energia do país, podem diversificar a matriz energética, e com isso diminuir a dependência de uma ou outra fonte de energia.

O desenvolvimento e a modernização dos meios de produção também refletiram na agropecuária, com a introdução da mecanização e automatização. Devido a isso, a criação de gado de corte e de gado leiteiro no sistema de confinamento se intensificou muito nos últimos anos. O sistema de confinamento consiste em distribuir os animais em pequenos lotes e criá-los em currais com espaço delimitado, controlando o fornecimento de alimento e água. Este sistema propicia o



aumento produtivo do rebanho, aumentando a produção leiteira, e diminuindo o tempo de abate do animal (gado de corte). Entretanto, a utilização do sistema de confinamento, exige alguns cuidados quanto à disposição dos resíduos produzidos. O acúmulo de fezes, urina, camas e restos de alimentos provindo da criação dos rebanhos deverão ser tratados e dispostos corretamente para que não ocorra a poluição do meio ambiente. Quando os dejetos são dispostos incorretamente, podem ocasionar a poluição do solo (fitotoxicidade) e do ar (devido às emissões de gases ácidos e gases do efeito estufa), a eutrofização de lençóis freáticos e de corpos d'água (devido ao aumento da carga orgânica disponível, que pode provocar o aumento excessivo de algas, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido, e provocando a morte de peixes e de outros organismos presente na água), e a proliferação de vetores como moscas e varejeiras que podem transmitir doenças aos animais e ao ser humano. De acordo com AMARAL *et al.* (2004), as fezes bovinas têm sido identificado como principal reservatório de *Escherichia coli* e de moscas domésticas.

Segundo BERNI (2011), o uso de biodigestores está totalmente ligado na correção dos problemas ambientais e sanitários do meio rural. Basicamente o biodigestor é uma câmara, no qual são depositados resíduos orgânicos, e com o auxílio de determinados grupos de bactérias anaeróbicas, diminuem o potencial poluidor dos resíduos e os riscos sanitários que podem causar. Ao final do processo, se obtém um efluente quase inerte, que deverá ser disposto em lagoas de estabilização, para que seu residual potencial poluidor possa ser neutralizado, e também eliminar possíveis agentes patógenos que tenham sobrevivido ao processo de biodigestão. Com isso, pode se obter ao longo do processo de digestão anaeróbica, o biogás e o biofertilizante, sendo este último um excelente adubo orgânico, capaz de restaurar a microbiologia do solo e conseqüentemente aumentar sua produtividade. O biogás produzido é constituído principalmente de metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂). O metano é um combustível gasoso de alto poder calorífico, e deve ser evitado seu lançamento direto na atmosfera, pois, este intensifica o efeito do aquecimento global. Isto se deve ao seu poder de absorção da radiação solar, que é cerca de 21 vezes maior quando comparado ao gás carbônico.



Por ter origem na decomposição anaeróbica da matéria orgânica, que é um processo que ocorre naturalmente, o biogás é considerado um biocombustível renovável. Além disso, possui seu ciclo de carbono fechado, ou seja, o carbono lançado na atmosfera, resultante do processo de combustão, é reabsorvido novamente em alguma etapa da formação do combustível. O biogás é uma mistura de gases formados durante o processo de digestão anaeróbica pelas bactérias, sendo composto majoritariamente por metano e gás carbônico (CO₂). O metano é um hidrocarboneto de cadeia simples e possui alto poder calorífico, devido a isso, o biogás pode ser utilizado como combustível alternativo em propriedades rurais. Podendo ser destinado nas mais diversas aplicações como o aquecimento de água e ambientes, a secagem de grãos, cozimento de alimentos, iluminação, geração de energia elétrica, entre outras. A forma mais comum de uso do biogás é a conversão em energia elétrica e térmica. A conversão para a energia elétrica conta atualmente com auxílio de diversas tecnologias disponíveis, sendo possível seu melhor aproveitamento em microturbinas específicas, podendo apresentar bons rendimentos energéticos se forem utilizados para fins de geração, cogeração e trigeração de energia. As microturbinas modernas podem operar com o biogás recolhido diretamente do biodigestor, sem a necessidade de prévio tratamento, reduzindo custos.

A energia elétrica produzida pela microturbina pode ser utilizada na própria propriedade, reduzindo os custos de produção, ou pode ser repassada às concessionárias de energia, através do Sistema de Compensação de Energia, que gera créditos a serem utilizados nas contas de energia. Para HAMILTON (2003), o uso das microturbinas é bem visto, pois são máquinas de diversas potências, compactas e leves (podendo ser instaladas em qualquer local), apresentam baixos níveis de ruídos e vibrações, são confiáveis e necessitam de pouca manutenção. Possui também grande flexibilidade no uso de combustíveis, o que possibilita seu contínuo funcionamento, em épocas de baixa ou nenhuma produção de biogás, além de possuir baixos níveis de emissões de poluentes, dispensando o uso de filtros e lavadores de gases, que elevam o custo da energia produzida.

O calor rejeitado pelos gases de escape da microturbina pode ser reaproveitado pelo uso de regeneradores ou recuperadores de calor, que transferem o calor dos gases de escape para um fluido de trabalho. Posteriormente pode ser



utilizado em diversos processos, tais como: secagem de grãos, aquecimento de ambiente, produção de água quente ou em processos de refrigeração por absorção.

Devido a todos estes aspectos, o presente trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade do uso do biogás provindo da decomposição de dejetos bovinos leiteiros em microturbinas para fins de geração de energia elétrica, e o aproveitamento energético dos gases de exaustão, em sistemas de aquecimento de água e de refrigeração por absorção. Bem como, avaliar o potencial de geração de energia elétrica por animal e estimar a economia energética em uma propriedade rural destinada à criação de vacas leiteiras.

DESENVOLVIMENTO

Foi realizado o levantamento de dados sobre a demanda energética em uma propriedade rural voltada à criação de gado leiteiro. Os principais pontos de consumo energético provêm principalmente dos equipamentos destinados à produção leiteira, tais como: ordenadora mecânica, bombas hidráulicas, aspersores, ventiladores, resfriadores de leite, misturadores de ração, equipamentos de iluminação, entre outros equipamentos de pequeno porte. A estimativa média da demanda energética é de aproximadamente 9.500 kWh por mês, em uma propriedade com um rebanho de 300 vacas leiteiras.

Também foi realizado o levantamento sobre a produção média diária de dejetos por animal, que são recolhidos e dispostos em biodigestores. Realizou-se um levantamento de dados e consultas em textos literários, a respeito de biodigestores comumente utilizados em propriedades rurais, e os aspectos técnicos que levaram a sua escolha, bem como, o potencial de conversão de biogás a partir de dejetos animais, e o seu poder calorífico. Os dados sobre a produção energética e o calor rejeitado pela microturbina, pôde ser obtido com auxílio de catálogos de fabricantes. E através também, de catálogos de fabricantes, puderam ser obtidos dados sobre compressores de biogás, chillers (resfriadores) de absorção e regeneradores de calor. Posteriormente foi realizada uma análise sobre o potencial energético que pode ser gerado através da combustão do biogás em microturbinas, as formas de



reaproveitamento energético dos gases de escape, e a economia de energia elétrica que se pode obter através da microgeração.

Através de levantamentos de dados em propriedades rurais, foi obtida a produção média diária de esterco bovino fresco por animal, que ficou em cerca de 40 kg de esterco bovino diariamente, os quais são dispostos em biodigestores do tipo marinha ou canadense, conforme ilustrada na figura 1.

FIGURA 1 - Biodigestor modelo da Marinha



Fonte: TORRES, 2012

A escolha desse tipo de biodigestor é devida principalmente à suas características de construção, que é simples e rápida. Também favorece à sua escolha, o fato de poder ser abastecido continuamente com dejetos orgânicos, e de que suas dimensões possibilitam maior volume depositado e grande exposição solar, beneficiando a produção de biogás.

O potencial de produção do biogás varia conforme a origem e constituição orgânica dos dejetos, e pode ser calculada através da tabela 1.

TABELA 1. Potencial de produção de biogás a partir de dejetos animais

Espécie	m³ de biogás/kg esterco
Caprino/ovino	0,040 - 0,061
Bovino de leite	0,040 - 0,049
Bovino de corte	0,040
Suínos	0,075 - 0,089
Frangos de corte	0,090
Poedeiras	0,100
Codornas	0,049

Fonte: OLIVER, 2008, p. 12.



Com base nos dados da produção diária de esterco bovino, e com o auxílio dos dados sobre o potencial de conversão de biogás, ilustrada na tabela 1, pode-se obter uma produtividade de 1,6 m³ de biogás, por animal diariamente.

O biogás produzido pode ser armazenado, e posteriormente utilizado nas microturbinas. A tabela 2 ilustra as formas comumente utilizadas para o armazenamento do biogás.

TABELA 2. Sistemas de armazenamento de biogás.

Pressão [bar]	Estocagem	Material
Baixa (0,138 a 0,414)	Selo d'água	Aço
Baixa (0,138 a 0,414)	Gás 'bag'	Plástico, vinil, lona (borracha)
Media (1,05 a 1,97)	Tanques de propano e butano	Aço
Alta (200)	Cilindros comerciais de gás	Aço

Fonte: KAPDI, 2004, p. 1201.

O poder calorífico que pode ser obtido através da queima do biogás depende exclusivamente da sua composição e da quantidade de água presente. A composição média do biogás é ilustrada na tabela 3.

TABELA 3. Composição do biogás processado num biodigestor

Gases	Porcentagem (%)
Metano (CH ₄)	40 a 75
Dióxido de carbono (CO ₂)	25 a 40
Hidrogênio (H ₂)	1 a 3
Nitrogênio (N ₂)	0,5 a 2,5
Oxigênio (O ₂)	0,1 a 1
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	0,1 a 0,5
Amônia (NH ₃)	0,1 a 0,5
Monóxido de carbono (CO)	0 a 0,1

Fonte: SALOMOM; FILHO, 2007, p. 12

O poder calorífico do biogás pode ser obtido com base no poder calorífico e na quantidade de gás metano presente em sua composição. Considerando que o PCI (poder calorífico inferior) do metano seja de 8.570 kcal/m³ (35.881 kJ/m³), o PCI do biogás sem nenhum tipo de tratamento pode variar de 3.428 kcal/m³ (14.352 kJ/m³) a 6.427 kcal/m³ (26.908 kJ/m³). Com o poder calorífico, e a produção diária de biogás, pode se obter o potencial de produção energético diário de um bovino adulto. Este pode variar de 22.963 kJ a 43.053 kJ. Para a análise de microgeração de energia, será considerado o menor potencial energético que um bovino leiteiro pode gerar, portanto, 22.963 kJ/dia.



Foi adotada para efeitos de cálculos, a microturbina CR30, da fabricante CAPSTONE. A escolha foi motivada em função de que a mesma pode ser abastecida com biogás pobre em metano, e com elevado grau de impurezas, dispensando o uso de tratamentos específicos para a remoção de gás sulfídrico e dióxido de carbono. A microturbina CR30, é ilustrada na figura 2, e suas características estão disponíveis na tabela 4.

FIGURA 2 - Microturbina Capstone CR30

Fonte: CASPTONE, 2014

TABELA 4. Especificações técnicas da microturbina CAPSTONE CR30.

Microturbina CR30			
Performance Elétrica			
Potência elétrica produzida	30 kW	Máxima corrente Produzida	36 A
Voltagem	400 - 480 VAC (trifásico - 50/60 Hz)	Eficiência elétrica	26%
Características do Combustível			
Biogás de biodigestor ou aterros sanitários	13 - 32,6 MJ/m ³	Fluxo de biogás	457 MJ/h
Concentração de H ₂ S	< 70.000 ppm	Pressão de entrada	414 - 483 kPa
Característica dos Gases de Exaustão			
NO _x /produção energética	~ 0,29 kg/MWh	Emissão de NO _x	< 9 ppm (18 mg/m ³)
Fluxo dos gases de exaustão	0,31 kg/s	Temperatura dos gases de exaustão	275 °C
Dimensões			
Largura x Profundidade x Altura	0,76 x 1,5 x 1,8 [m]	Peso	405 kg
Níveis de ruído a 10 m	65 dBA		

Fonte: CAPSTONE, 2014

De acordo com os dados técnicos apresentados na tabela 4, o biogás necessita entrar na microturbina com pelo menos 4,14 bares de pressão, o que implica que o biogás deve ser comprimido e armazenado em cilindros de gás especiais. Para isto, se faz necessária o uso de compressores para elevação da



pressão do biogás. O compressor TRE 200, da MEHRER, foi selecionado, pois satisfaz à pressão de entrada do biogás na microturbina e também possui proteção contra as impurezas presentes no biogás. As características do compressor são ilustradas na tabela 5.

TABELA 5. Dados técnicos do compressor Mehrer TRE 200

Compressor TRE 200	
Razão de compressão	1:6
Máxima pressão de sucção	16 bar
Máxima pressão final	16 bar
Vazão volumétrica	14,847 a 26,694 m ³ /h
Potência útil necessária	5 kW
Faixa de rotação	350 a 700 r.p.m.
Compressão de gases tóxico e inflamáveis	sim
Arrefecimento	A ar

Fonte: MEHRER, 2014

Para aumentar a eficiência global do processo, deve ser utilizado um trocador (ou regenerador) de calor, para que haja o aproveitamento dos gases de escape da microturbina. Foi selecionado o modelo ITC 1, da CAPSTONE, que possui as características apresentadas na tabela 6.

TABELA 6. Dados Técnicos do Recuperador de Calor ITC 1

Recuperador de Calor ITC 1	
Potência da Bomba de água	2 HP (1.5 kW)
Tensão de Alimentação	3 x 380 - 50Hz / 3 x 220 - 60Hz
Temperatura dos gases de escape	275 a 305°C
Temperatura máxima de saída de água	95 °C
Vazão de Circulação de água	120 l/min

Fonte: CAPSTONE, 2014

Visando aumentar ainda mais a eficiência do processo. Fez-se o uso da trigeração de energia, ou seja, a aplicação do calor residual para a produção de frio. Para isto, foi selecionado o chiller de absorção da LS GROUP, modelo LWM-W003, que opera com água quente a baixas temperaturas. Os dados técnicos do chiller são apresentados na tabela 7.

TABELA 7. Dados Técnicos do Chiller LWM-W003

Chiller LWM-W003		
Capacidade de refrigeração	98,47 kW	84.672 kcal/h
Água do Chiller (Fluído de refrigeração)	Temperatura de entrada	12°C
	Temperatura de saída	7°C
	Fluxo Volumétrico	17,1 m ³ /h



Água de resfriamento	Temperatura de entrada	31°C
	Temperatura de saída	36,5°C
	Fluxo volumétrico	37,4 m ³ /h
Água de aquecimento (Fornecimento de calor)	Temperatura de entrada	95°C
	Temperatura de saída	80°C
	Fluxo volumétrico	8,0 m ³ /h
Equipamentos elétricos (bombas hidráulicas, painel de controle etc)	Potência elétrica	4,4 kVA
Dimensões	Largura	2.020 mm
	Comprimento	1.344 mm
	Altura	1.952 mm
	Peso	2.100 kg

Fonte: LS GROUP, 2014

Para a análise de geração de energia, foi calculado o tempo de operação da microturbina, com base nos valores do fluxo de energia requerida pela microturbina e o poder calorífico do biogás encontrado em biodigestores. A microturbina necessita de aproximadamente 457 MJ/h de energia provinda do biogás, para gerar cerca de 26 kW de energia elétrica em um ambiente a 30°C. Com base nisso, e com o poder calorífico do biogás, pode se calcular o volume de gás necessário. Portanto, deve se fornecer aproximadamente 31,84 m³/h de biogás para a microturbina. Entretanto, devido à pressão de trabalho exigido pela microturbina, o compressor de biogás necessitará de 5,91 kW de energia para armazenar 31,84 m³ de biogás á alta pressão. Desta forma, o conjunto gerador, composto pela microturbina e o compressor de biogás, fornecerá cerca de 20,09 kWh de energia líquida.

Para fornecer este volume de biogás para a microturbina, são necessários cerca de 20 animais bovinos adultos. Ou seja, cada animal possui um potencial de geração de energia elétrica de aproximadamente 1,009 kWh por dia.

Pode-se aumentar a eficiência energética do processo, com a utilização de trocadores ou regeneradores de calor, que aproveitam o calor contido nos gases de exaustão da microturbina. Com base nisso, e utilizando-se dos dados da tabela 4 e 6, pode ser obtido durante o processo cerca de 7,2 m³/h de água quente a 95°C. Para a produção de água quente, através do recuperador de calor ITC1, é necessária a utilização de uma bomba hidráulica que consome 1,5 kWh de energia. Portanto, cada animal bovino possui um potencial de geração de energia de aproximadamente 0,934 kWh/dia, além de produzir cerca de 0,361 m³/dia de água quente.

A água quente produzida pode ser destinada para a confecção de queijos, para as lavagens do ambiente de ordenha e abatedouros, e entre outros processos



que se faz necessário o seu uso, ou podem ser utilizados para fins de trigeração de energia, sendo aplicados em chillers de absorção, para a produção de água gelada.

Com auxílio dos dados disponíveis na tabela 7, pode se calcular a potência frigorífica que um chiller de absorção é capaz de produzir com a água quente provinda do recuperador térmico. Com exceção da quantidade de água quente disponível, os demais parâmetros de operação são mantidos constantes. A quantidade de água quente disponível representa cerca de 90% da quantidade requerida pelo chiller, ou seja, apenas 90% da energia térmica exigida pelo chiller são entregues. Com os dados técnicos do chiller, pode-se obter seu coeficiente de eficácia (CDE) ou de performance (COP), e com a quantidade de calor injetado no sistema, pode se calcular a nova capacidade frigorífica do chiller. Nessas condições, o chiller de absorção entrega aproximadamente 85,92 kW de refrigeração, ou seja, 24,43 toneladas de refrigeração por dia.

Neste novo cenário, o potencial de geração de energia por animal se altera, sendo possível gerar aproximadamente de 0,713 kWh por dia, além de 4,31 kW de refrigeração diariamente.

CONCLUSÃO

A destinação de dejetos bovinos leiteiros em biodigestores para a geração de biogás, e seu posterior aproveitamento energético através de sua queima em microturbinas é altamente viável, sendo possível produzir no mínimo 30,27 kWh/mês de energia por animal. A propriedade rural analisada possui cerca de 300 vacas leiteiras, com isso, é possível produzir 9.081 kWh/mês de energia elétrica, o que representa em torno de 95 % de economia na energia elétrica.

Quando comparado ao sistema de produção de energia elétrica e água quente, a economia de energia elétrica representa aproximadamente 88 % do total consumido, ou seja, são gerados aproximadamente 8.406 kWh/mês de energia elétrica.

No sistema em que se visa à produção de energia elétrica e produção de frio, a economia na energia elétrica chega a 67%, ou seja, é possível produzir aproximadamente 6.417 kWh/mês de energia elétrica, além do benefício de se produzir água gelada utilizada para o resfriamento de ambientes ou mesmo, para



reduzir um pouco da temperatura do leite extraído, para posterior armazenamento. Desta forma, a economia de energia elétrica para resfriar o leite em tanques refrigerados se torna ainda maior, pois parte do calor contido no leite após sua ordenha é transferido para a água gelada.

O tratamento do biogás, através do uso de filtros simples, constituídos de serragem e limalha de ferro, contribui para a eliminação do vapor d'água e gases ácidos, que acarreta no aumento do poder calorífico do biogás e conseqüentemente no aumento da energia elétrica produzida pela microturbina, possibilitando a autossuficiência energética da propriedade.

Além da economia de energia, a utilização do biogás trás benefícios à natureza, pois evita que o metano seja lançado diretamente na atmosfera, diminuindo os efeitos do aquecimento global. Pode também representar uma alternativa de renda, através da comercialização de créditos de carbono, e da venda ou uso do biofertilizante.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Cecília Maria Costa do *et. al.* **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica**. Revista Ciência Rural, v.34, nº 6, Nov/Dez. 2004, p.1897-1902.

ANAEEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz de Energia Elétrica**. disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/operacaocapacidadebrasil.asp>> . Acesso em: 08 de Abril de 2014.

ANAEEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 482** - disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 1 de Julho de 2014.

BERNI, Jéssica Violin. **Fermentação Anaeróbica de Dejetos Bovinos em Biodigestor Canadense: Análise de Macro e Micronutrientes de Biofertilizante**. 2011, 60 f. Trabalho de Graduação - Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, SP, 2011.

CAPSTONE TURBINE CORPORATION. **Solutions - Resource Recovery: Biogas**. Disponível em: <http://www.capstoneturbine.com/_docs/datasheets/CR30_331033F_lowres.pdf>. Acesso em: Abril de 2014.

COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do Uso do Biogás da Bovinocultura e Suinocultura para Geração de Energia Elétrica e irrigação em Propriedades Rurais**. 2006, 74 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2006.

COLOMA, Elena Jiménez; PRIETO, Elisabet Gonzalez. **Estudio de Viabilidad de Sistemas de Purificación y Aprovechamiento de Biogás: Capítulo 6 Microturbinas**. PSE PROBIOGAS, Espanha, 2010.

ENEDIS - ENERGIA DISTRIBUÍDA. **Recuperador de Calor ITC 1**. Disponível em: <http://www.enedis.com.ar/documents/es/Espec_Tec_ITC1_es.pdf>. Acesso em: Abril de 2014.



GELAIN, Eduardo Rigon. **Dejetos de Bovinos de Leite no Assentamento Santa Julia - Júlio de Castilhos (RS): Produção e Possibilidade de Uso**. 2011, 66 f. Monografia de Especialização, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

HAMILTON, Stephanie L. **Microturbine Generator Handbook**. 1. ed. Tulsa, Oklahoma, PennWell Corporation, 2003, 204 p.

KAPDI, S. S *et. al.* **Biogas Scrubbing, Compression and Storage: Perspective and Prospectus in Indian Context**. *Renewable Energy*, v.30, 2005 p. 1195 – 1202.

LS GROUP. disponível em: <lsaircondition.com>. Acesso em: 25 de Julho de 2014.

MEHRER - disponível em: < <http://www.mehrer.de/1/starteite/>>. Acesso em: 28 de Julho de 2014.

NISHIMURA, Rafael. **Análise De Balanço Energético De Sistema De Produção De Biogás Em Granja De Suínos: Implementação De Aplicativo Computacional**. 2009, 99 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2009.

OLIVER, André de Paula Moniz *et. al.* **Manual de Treinamento em Biodigestão**. 1. ed. Salvador, BA, Instituto Winrock, 2008, 23 p.

SALOMOM, Karina Ribeiro. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias Para Geração de Eletricidade**. 2007, 247 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Itajubá - Itajubá, MG, 2007.

SALOMOM, Karina Ribeiro; FILHO, Geraldo Lucio Tiago. **Séries Energias Renováveis: Biomassa**. 1. ed. Itajubá, MG, Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas, 2007, 36 p.

TECPAR - Instituto de Tecnologia do Paraná. **Manual de Biosistemas Integrados na Suinocultura - Centro de Integração de Tecnologia do Paraná – CITPAR**. Telus – Rede Paranaense de Projetos em Desenvolvimento Sustentável. 2002, Curitiba, PR, 140 p.

TORRES, Aline *et. al.* **Fundamentos de Implantação de Biodigestores em Propriedades Rurais**. *Revista Educação Ambiental em Ação*, 40., 2012. Disponível em: <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1248&class=02>>. Acesso em: 28 de Julho de 2014.