

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS EM UMA PROPRIEDADE RURAL COM A IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTOR ALTERNATIVO

BIOGAS ENERGY ENHANCEMENT IN A RURAL PROPERTY WITH THE IMPLEMENTATION OF ALTERNATIVE BIODIGESTER

Julio Barretto Cristofoli¹, Rafael Zampar^{2*}, Cristian Coelho Silva³

¹Bacharel em Ciências Biológicas; Centro Universitário Integrado, Campo Mourão – PR, Brasil; Mestre no Programa de Pós-Graduação em Bioenergia pela Universidade Estadual de Maringá, PR.

²Doutorado em Ecologia (Ciências Ambientais) pela Universidade Estadual de Maringá, PR; Docente Centro Universitário Integrado, Campo Mourão – PR, Brasil

³Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais pela Universidade Federal do Amazonas, Manaus – AM; Docente Centro Universitário Integrado, Campo Mourão – PR, Brasil

*Endereço para correspondência: Rodovia BR 158, Km 207, Jardim Santa Cruz, CEP: 87300-970, Campo Mourão – PR; E-mail: rzampar@gmail.com

RESUMO

As energias renováveis são tecnologias alternativas que podem ser empregadas em propriedades rurais, tendo como matéria prima a biomassa existente no próprio local, acondicionada em biodigestores que desencadeiam processos de biodigestão anaeróbica, apresentando como subproduto o biogás. Com o objetivo de mensurar o potencial de geração do biogás por meio de seu aproveitamento energético foi construído um biodigestor modelo caseiro simples do tipo batelada, utilizando materiais convencionais. Foram analisados temperatura, pH, geração e tempo de queima do biogás, durante o período de 30 dias. Os valores médios de temperatura interna ficaram em torno de 33°C, com mínima de 23°C e máxima de 44°C. O pH apresentou uma condição ácida na primeira medição (6,39) e uma condição alcalina na última medição (7,38). Obteve-se uma produção de 1,03 m³ de biogás que foi queimado por 13h45min. Tendo em vista que a bioquímica da biodigestão anaeróbia é complexa e envolve uma série de fatores (temperatura, pH, tempo de retenção, arranjo físico e variedades de substrato), as oscilações de temperatura na primeira semana interferiram na atividade bacteriana, influenciando a produção de biogás, pois as bactérias metanogênicas são sensíveis a choques de temperatura. Desta forma, a utilização de biodigestores pode ser considerada uma opção atrativa para a destinação de resíduos gerados em zonas rurais possibilitando incorporar o biogás no cenário energético de pequenas, médias e grandes propriedades.

Palavras-Chave: energias renováveis; tecnologias; biomassa; biodigestão.

ABSTRACT

Renewable energies are alternative technologies that may be applied to rural properties, having as raw material local biomass housed in biodigesters that trigger anaerobic biodigestion processes and produce biogas as a sub product. In order to measure the biogas generation potential, a simple batch type homemade biodigester was constructed using conventional materials. Temperature, pH, biogas generation and burning time were analyzed during a period of 30 days. Average of internal temperature was around 33°C with 23°C as minimum and 44°C as maximum. The pH ranged from an acid condition in the first measurement (6.39) to an alkaline condition in the last measurement (7.38). A production of 1.03 m³ of biogas was obtained which was burned for 13h45min. Considering that the biochemistry of anaerobic biodigestion is complex and involves many factors (temperature, pH, retention time, physical arrangement and substrate varieties), temperature oscillations in the first week interfered in bacterial activity, influencing the production of biogas, due to methanogenic bacteria are sensitive to temperature shocks. In this way, the use of biodigestors may be considered an attractive option for destination of residues generated in rural areas, allowing the incorporation of biogas in energy scenario of small, medium and large properties.

Key Words: renewable energy; technologies; biomass; biodigestion.

INTRODUÇÃO

A maior parte de toda a energia utilizada pelo ser humano provém de recursos energéticos não renováveis, os chamados combustíveis fósseis, como carvão mineral, gás natural e petróleo e seus derivados (gasolina, óleo diesel, querosene, entre outros). Essas fontes são limitadas e com previsão de esgotamento no futuro (1-3).

O uso de energias renováveis é uma alternativa tecnológica capaz de gerar ótimos resultados, melhorando a gestão dos recursos econômicos de propriedades rurais, reduzindo problemas ambientais pelos resíduos gerados, evitando problemas à saúde. Ainda, ocorre a redução do consumo dos recursos naturais e a otimização da produção agrícola por meio da redução de custos e conseqüente melhoria global da qualidade de vida das pessoas (4,5).

Biomassa é todo material que se decompõe por efeito biológico, isto é, pela ação de diferentes organismos (6). De maneira geral, podemos descrever a biomassa como a massa total de matéria orgânica que se acumula em um espaço (7,8). Segundo Coldebella et al. (7), estima-se a existência de 2 trilhões de toneladas de biomassa no globo, ou seja, cerca de 400 toneladas per capita, o que corresponde a oito vezes o consumo de energia primária no mundo, atualmente de 400 EJ/ano. A utilização da biomassa como matéria-prima alternativa de produção energética propicia o uso racional dos recursos disponíveis, reduzindo a transferência de renda para outros agentes e diminui a dependência a fontes externas de energia (9).

A fermentação da biomassa em reatores anaeróbios apresenta-se como uma excelente alternativa e um sistema de baixo custo para o tratamento dos resíduos de propriedades rurais (10), pois, além de reduzir a taxa da poluição e contaminação do solo, água e ar, promove a geração do biogás, biofertilizante, realiza o controle de parasitas e a contenção de metano (11). As altas temperaturas alcançadas durante a biodigestão e os ácidos produzidos na fermentação eliminam até 90% das bactérias patogênicas (12,13).

Existem vários tipos de biodigestores (digestores, biorreatores) que podem ser empregados de acordo com a necessidade e

o tipo de matéria orgânica existente, sendo definidos como uma câmara fechada de fermentação onde a biomassa, por meio da digestão realizada por bactérias anaeróbicas, produz o biogás. Trata-se de um recipiente completamente fechado feito com material que impeça a entrada de oxigênio, onde a matéria a ser fermentada é depositada (14,15). Um método eficiente para estimar o tamanho do biodigestor é conhecer a média da biomassa que a propriedade possui disponível e somar com a quantidade de água necessária para a digestão (geralmente essa média biomassa/água apresenta relação de 1 quilograma para 1 litro) (16).

Algumas variáveis devem ser controladas para a transformação do biogás, como por exemplo, a temperatura, umidade, substâncias prejudiciais e tempo de retenção (14). A produção do gás tem sua ótima velocidade com pHs entre 7 e 8, e temperatura ao redor de 35°C. A velocidade da atividade microbiana também é retardada caso a concentração de nutrientes seja insuficiente. Pode-se adicionar ureia (presente na urina animal) ou fertilizantes químicos para suprir essa deficiência (17).

De acordo com Ruiz et al. (18), o biogás é constituído basicamente de 60 a 70% de metano (CH₄) e 30 a 40% de dióxido de carbono (CO₂). Além destes, pode conter traços de hidrogênio (H₂), oxigênio (O₂), nitrogênio (N₂) e gás sulfídrico (H₂S) (19). Segundo Barreira (20) e Teixeira (21), o metano não tem cheiro, cor ou sabor, sendo o gás sulfídrico o responsável pelo odor pútrido, o que confere ao biogás um odor característico, mas este odor desaparece após sua queima. O biogás produzido pode ter o seu potencial energético aproveitado no próprio local, em cozimento, aquecimento, refrigeração, iluminação, incubadores, misturadores de ração, geradores de energia elétrica, entre outros (22). Portanto, a utilização de biodigestores representa uma alternativa adequada para o tratamento de resíduos oriundos de propriedades rurais, pois além de permitir a redução do potencial poluidor e dos riscos sanitários dos dejetos, a reciclagem do efluente gerado (utilizado posteriormente como biofertilizante), promove a geração do biogás, empregado como fonte de energia renovável para o produtor.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo mensurar o potencial de

geração do biogás por meio de seu aproveitamento energético, produzido através da utilização de biodigestor alternativo contendo matéria orgânica residual de uma propriedade rural.

METODOLOGIA

Área de estudo

A propriedade rural está localizada na Vila Rural Flor do Campo PR 317 (Rod.

Bento Fernandes Dias), Campo Mourão, Paraná (Figura 1), com área total de 5.000m². Situa-se na mesorregião Centro Ocidental do Paraná, sul do Brasil, no terceiro Planalto Paranaense, com centro geográfico nas coordenadas 52°24'W e 24°0'S. Partindo do bairro Centro do município de Campo Mourão, tendo a praça da Catedral como marco inicial, a propriedade está à 6,1 km de distância.

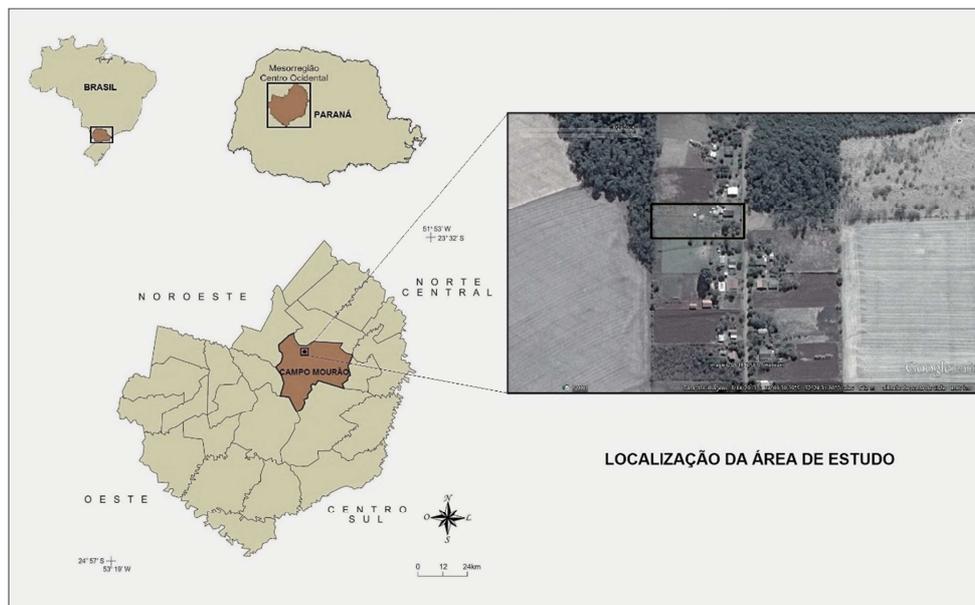


Figura 1. Localização da Área de Estudo. Vila Rural Flor do Campo, Campo Mourão, PR.

Delineamento experimental

A construção do biodigestor modelo caseiro simples do tipo batelada foi desenvolvido na Fundação Educere de Pesquisa e Desenvolvimento, Campo Mourão, Paraná, sendo constituído de um tambor de polipropileno de 200 litros (0,2 m³), com saída direta para um fogareiro convencional, sendo calculado o potencial energético por meio de um medidor de gás e pela queima direta do biogás. Posteriormente foi adaptado um cano de PVC (Polyvinylchloride) fixado à tampa do reator até próximo à sua base, contendo uma hélice, permitindo a mistura da matéria orgânica inserida por meio de uma manivela manual (Figura 2).

O processo de batelada foi realizado a fim de permitir a obtenção de dados de rendimento em relação à proporção de matéria orgânica adicionada, podendo, como resultado inicial, determinar um período de maturação e alimentação.

O abastecimento do biodigestor foi feito com biomassa e água na proporção de 1:1 (23), sendo, aproximadamente, 50 kg de biomassa (fezes de bovinos e suínos (2:1)) e 50 L de água, ocupando a metade do biodigestor. Antes de abastecer o mesmo, foi tomado o devido cuidado para misturar o substrato com água, deixando a mistura totalmente uniforme.

O tempo de retenção, de acordo com os diferentes substratos utilizados para a alimentação do biodigestor e dos demais fatores, varia de 4 a 60 dias (24,25). Por se tratar de uma maior proporção de esterco bovino foi adotado um período intermediário de 30 dias (23).

A temperatura interna do biodigestor foi medida com a utilização de um termômetro fixado à sua tampa, sendo também medida a temperatura externa nos mesmos horários de coleta com a utilização de um termômetro convencional.

A determinação do pH deu-se pela retirada de amostras em intervalos de 10

dias (A1: 28/09/14; A2: 08/10/14; A3: 18/10/14), totalizando três amostras ao longo dos 30 dias de retenção. Foi utilizado para a medição um pHmetro modelo Hanna PH 21.

O volume de biogás produzido no biodigestor foi determinado por um medidor de gás do fabricante LAO Indústria Ltda,

modelo G 0,6 e pelo tempo de queima em um fogareiro convencional, amostrados duas vezes ao dia após o início da produção do biogás, verificando o aproveitamento energético para o produtor e estabelecendo a quantidade de biogás gerado nos 30 dias de retenção dentro do biodigestor.



Figura 2. Esquema em 3D do biodigestor utilizando o software SolidWorks®Premium 2014. Desenho: Cesar Barretto Cristófoli.

Análise dos dados

Para verificar a relação entre os valores de temperaturas interna e externa do biodigestor foi utilizada correlação linear de Pearson, realizada através do programa Microsoft Excel® 2013.

Para efetuar a estimativa do potencial de energia disponível a partir da biomassa residual da propriedade rural, foi adotada a metodologia de cálculo da quantidade métrica de Biogás/anoproposta por Carvalho e Nolasco (26), considerando o volume de esterco bovino (10 kg/dia) e suíno (2,3 kg/dia) (27) que cada unidade animal gera por dia, o volume de biogás que esse dejetos gera por dia (0,034 m³) e a massa específica do biogás (0,670 kg/m³) (20). Assim, tem-se

a equação abaixo, que apresenta o cálculo de produção do biogás (kg/m³ por ano).

$$Kg. Biogás / ano = QTA_{un} \cdot T_{dias} \cdot BGM_{dia} \cdot M_{esp}$$

No qual:

QTA_{un} = quantidade total de animais

T_{dias} = tempo em dias

BGM_{dia} = biogás gerado por dia

M_{esp} = massa específica do biogás

RESULTADOS

Após 30 dias do início de operação do biodigestor os valores médios de temperatura interna obtidos ficaram em torno de 33°C, com mínima de 23°C e picos de até 44°C (Figura 3).

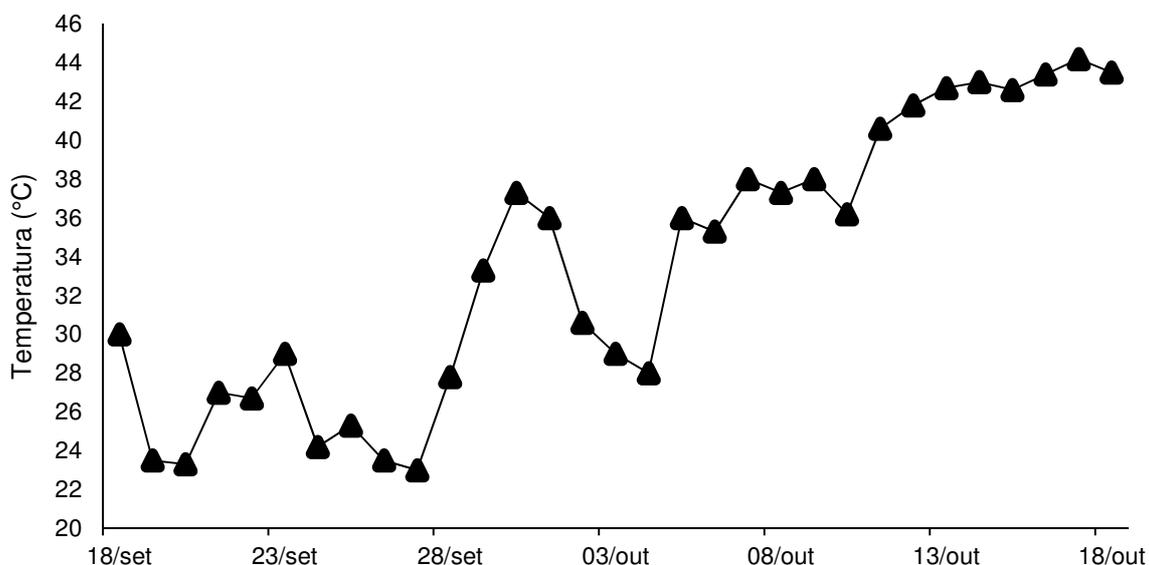


Figura 3. Temperatura interna do biodigestor, durante os 30 dias de retenção.

A temperatura interna do biodigestor foi fortemente correlacionada com a temperatura externa amostrada no local, com

um coeficiente de correlação de 0,919 (Figura 4).

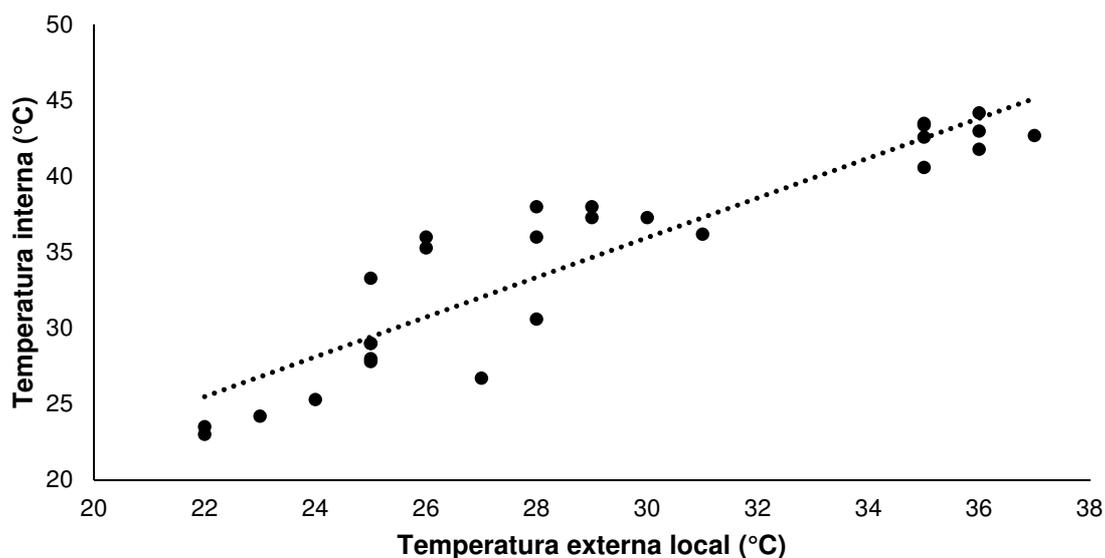


Figura 4. Relação entre a temperatura interna do biodigestor e a temperatura externa amostrada no local, durante os 30 dias. r = coeficiente de correlação.

Os valores de pH aumentaram desde a primeira até a última medição, indicando uma tendência da condição levemente ácida na primeira medição (6,39) para uma condição alcalina na última medição (7,38). A produção de biogás por semana em média foi de 0,25 m³, totalizando 1,03 m³/mês (Tabela 1).

O tempo total acumulado de queima do biogás após os 30 dias de retenção no biodigestor foi de 13h45min (Tabela 2).

Tabela 1. Média dos valores de pH das três amostras analisadas (A1; A2; A3, intervalos de 10 dias de experimento) e produção de biogás (30 dias), em experimento realizado em propriedade rural de Campo Mourão, PR.

Dados analisados	Valores		
	A1	A2	A3
pH	6,39	6,76	7,38
Produção de Biogás	1,03 m ³ /mês		

Tabela 2. Tempo de queima do biogás, em experimento realizado em propriedade rural de Campo Mourão, PR.

Data	Tempo
Dia 1	2h20min
Dia 2	1h50min
Dia 3	2h30min
Dia 4	2h15min
Dia 5	2h30min
Dia 6	2h20min
Total	13h45min

De acordo com a equação proposta por Carvalho e Nolasco (26) o volume de biogás gerado por dia de 0,034 m³, massa específica do biogás de 0,670 kg/m³ (20), obtêm-se um total de 99,77 kg de biogás por ano.

DISCUSSÃO

A biodigestão anaeróbia pode ocorrer em três faixas de temperatura: psicrófila (até 25°C), mesófila (de 25 a 40°C) e termófila (acima de 40°C) (28). Após os 30 dias do início do experimento, os valores médios de temperatura interna do biodigestor estiveram na faixa de 33°C, caracterizando que a digestão ocorreu na faixa mesófila.

Ahn & Forster (29); Bouallagui et al. (28) e Seixas (14) citaram que o sucesso da biodigestão anaeróbia depende da impermeabilidade do meio metagênico ao contato com o ar atmosférico, quantidade suficiente de nutrientes orgânicos, ausência de substâncias tóxicas aos organismos anaeróbicos, teor de água adequado e, principalmente, a manutenção da temperatura de operação do biodigestor, pois as bactérias metanogênicas são sensíveis a choques de temperatura.

Tendo em vista que nas primeiras semanas do experimento a baixa incidência de luz solar interferiu na temperatura interna do biodigestor, ocasionando condições ambientais desfavoráveis ao desenvolvimento das bactérias, as etapas da biodigestão anaeróbica foram prejudicadas. Chae et al. (30) encontraram redução na produção de biogás quando promoveram choque de temperatura de 35 para 30°C.

Dotto et al. (31), em experimento com biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos, verificaram expressiva baixa na produção de biogás ocorrida devido às oscilações da temperatura no decorrer do experimento nos meses mais frios, mesmo com a adição de controladores de calor. Desta forma, como nas primeiras duas semanas do experimento as temperaturas amenas e a baixa incidência de luz solar interferiram nas etapas da biodigestão (hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese), houve baixa eficiência na produção de biogás.

De acordo com Turdera & Yura (17), a produção de gás tem sua ótima velocidade com pH entre 7 e 8, já Bryant (32) indica que a faixa ideal de pH para digestão anaeróbia de dejetos bovinos é de 6,7 a 7,4. Konzen (33), por sua vez, afirma para dejetos suínos que o pH apresente valor de 6,94 para maior produção de biogás. O valor de pH obtido na última medição do experimento, após aumento na alcalinidade do meio, foi de 7,38, que ficou dentro da faixa ótima de biodigestão indicada na literatura. Isso mostra que, mesmo havendo produção de biogás, houve influência diretamente proporcional na atividade bacteriana.

A bioquímica da biodigestão anaeróbia é complexa e envolve uma série de fatores interdependentes, como a queda no pH (34). Quando as populações de bactérias acetogênicas e arqueas metanogênicas se encontram presentes em quantidades suficientes e as condições ambientais são favoráveis, estas se utilizam dos ácidos intermediários tão rapidamente quanto eles se acumulam nos reatores (34). Porém, quando as quantidades de bactérias não são suficientes, por conta de condições impróprias do meio fermentativo (arranjo físico ou variedade do substrato), estas não serão capazes de consumir os ácidos intermediários na mesma intensidade em que eles se formam e conseqüentemente ocorre redução do pH (34).

De acordo com Barreira (35), para se produzir um metro cúbico (m³) de biogás são necessários 25 kg de esterco fresco de vaca ou 12 kg de esterco de porco. Portanto a quantidade de biomassa utilizada em condições favoráveis e um período maior de permanência dentro do biodigestor (45 dias) proporcionaria uma produção de até 2,86 m³ de biogás. Sendo que com as variações

externas apresentadas e o tempo de retenção utilizado ao longo do experimento obteve-se uma produção de 1,03 m³ de biogás. Souza et al. (36) descreveram o potencial de biogás do esterco suíno como sendo igual a cerca de 70 L de biogás por Kg de esterco fresco, obtendo uma média de 1,4 m³ de biogás com relação a quantidade de dejetos utilizados. Segundo Primavessi (37), um bovino de leite, em lactação de alta produção gera entre 100 e 150 Kg de CH₄ por ano. A propriedade no momento do estudo possuía 2 vacas, mas, estava em etapa de aquisição de mais 10 animais. Tomando como base o valor de 100 Kg de CH₄ emitido por ano por animal, a propriedade produzirá por volta de 1,2 toneladas de CH₄ em 1 ano.

O tempo total acumulado de queima do biogás em um fogareiro convencional foi de 13h45min, representando um consumo de 0,076 m³/h, totalizando 1,03 m³ de biogás. De acordo com Winrock (38) a variação da composição do biogás está diretamente relacionada com a natureza da matéria-prima fermentada ao longo do processo de biodigestão. Ruiz et al. (18) e Sganzerla (7), mostram valores médios de composição do biogás (em%) de 60 a 70% de gás metano (CH₄), 30 a 40% de gás carbônico (CO₂) e traços de nitrogênio (N), hidrogênio (H), gás sulfídrico (H₂S) e oxigênio (O₂). Sendo essa porcentagem de metano que confere ao biogás um alto poder calorífico, o qual varia de 5.000 a 7.000 kcal/m³ (20), embora variável, segundo Neto (39), o CH₄ em sua forma purificada possui um poder calorífico de até 8.703 kcal/m³.

Segundo Winrock (38) o biogás *in natura* apresenta um poder calorífico de 4.713 a 5.500 kcal, sendo equivalente a 0,45 L gás de cozinha; 0,61 L de gasolina; 0,58 L de querosene; 0,55 L óleo diesel; 1,5 Kg de lenha; 0,79 L de álcool hidratado. Podendo ser utilizado em uma propriedade rural para

cozimento, geração de eletricidade, considerando a biomassa provenientes dos dejetos suínos e bovinos respectivamente a geração de energia elétrica seria de 175,39 kWh mês⁻¹ e 140,96 kWh mês⁻¹, sendo em média consumida por uma residência comum com sala, cozinha, dois quartos, área de serviço e um banheiro consomem aproximadamente 100 a 150 kWh mês⁻¹(40), combustível para máquinas e motores, iluminação, aquecimento, entre outras aplicações (41).

CONCLUSÃO

O uso de biodigestores utilizando resíduos gerados em zonas rurais possibilita incorporar o biogás no cenário energético de pequenas, médias e grandes propriedades, dependendo da quantidade de biomassa disponível. Levando em consideração a construção e operação do modelo de biodigestor utilizado nesse estudo (caseiro simples do tipo batelada), pode-se observar sua viabilidade de aplicação que se refere ao custo e posteriormente seus benefícios no tratamento dos resíduos, minimização dos riscos sanitários provenientes dos dejetos, geração de biofertilizante e produção do biogás, empregado como fonte de energia renovável para a propriedade rural.

Uma das características dos biodigestores é a sua capacidade de sanear o meio rural, permitindo a recuperação do solo, diminuição das taxas de poluição e a minimização dos impactos ambientais provenientes dos dejetos animais. Porém, há limitações que devem ser consideradas. No presente momento, tal tecnologia ainda não pode ser utilizada como fonte exclusiva para produção de energia, necessitando-se de fontes convencionais, embora represente um passo importante para difusão do uso de energias renováveis.

REFERÊNCIAS

- (1) SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, R. M. Transesterification of vegetable oils: a review. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 9, n. 3, p. 199-210, 1998.
- (2) FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. da S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja-taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.
- (3) SILVEIRA, M. A.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P. **Energia renovável: biogás e biodiesel**. Florianópolis:Editorada Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

- (4) SILVA, L. L. et al. Princípios de termoelétricas em pequenas propriedades rurais. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2. **Anais...**São Paulo, 2009. p. 1-9.
- (5) BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unoesc & Ciência-ACSA**, v. 2, n. 1, p. 87-96, 2011.
- (6) SGANZERLA, E. **Biodigestor: Uma Solução.**Porto Alegre:Editora Agropecuária, 1983.
- (7) COLDEBELLA, A.; SOUZA, S. N. M.; SOUZA, J.; KOHELER, A. C. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. In: Encontro de Energia no Meio Rural, VI. **Anais...** Campinas, 2006.
- (8) SOUZA, S.N.M. et al. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 127-133, 2004.
- (9) EMBRAPA AGROENERGIA. Microrganismos em Agroenergia: da Prospecção aos Bioprocessos. **Agroenergia em Revista**.Brasília, ano III, n. 5,p. 2238-1023, dez. 2012.
- (10) AMARAL, C.M.C. et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Marina, p. 1897-1902, 2004.
- (11) SANTOS, P. et al **Guia técnico de biogás.**Portugal: Centro para a Conservação de Energia, 2000.
- (12) ACUÑA, J. F. **Diseño y análisis financiero de una finca integra, enfocada al ecoturismo.**1998.105f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomía) - Universidade EARTH, Guácimo, 1998.
- (13) NIMUKUNDA, F. **Análisis de las aguas servidas em los biodigestores de la Finca Pecuaria Integrada de la Universidad EARTH.** 2003. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomía), Universidade EARTH, Guácimo, 2003.
- (14) SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores.** Brasília: EMBRAPA-CPAC. Circular técnica, 4, 1980.
- (15) GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestor em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: Um estudo de caso na Região de Toledo-PR.** 2003. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianópolis-SC, 2003.
- (16) FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica: estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.
- (17) TURDERA, M.V.; YURA, D. Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de dourados. IN: Encontro de Energia no Meio Rural, 6, **Anais...** Campo Grande, 2006.
- (18) RUIZ, R. L.; PIMENTEL, B.; SHIROMA, N. N. Microbiologia do rúmen e do biodigestor. In: RUIZ, R. L. **Microbiologia zootécnica.** São Paulo: Roca, 1992. p. 123-167.
- (19) THOMAS, D. G.; DELVAL, P. Utilization Du Biogaz Dans Les Moteurs Thermiques. **Informations Chimie**.Paris, v. 283, p. 147-149, 1987.
- (20) BARREIRA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural.** 2. Ed. São Paulo: Ícone. 2003.106 p.
- (21) TEIXEIRA, V. H. **Biogás.**Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003. 93 p.
- (22) COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso de biogás da bonivocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais.**2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.
- (23) FARIA, C. Fatores que Influenciam na Biodigestão Anaeróbia para produção de Biogás. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/energia/fatores-que-influenciam-na-biodigestao-anaerobia-para-producao-de-biogas/>>. Acesso em: 06 jun. 2014.

- (24) FILHO, J. A. C. Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense. **EMBRAPA**. Circular técnica. Corumbá, Mato Grosso do Sul, n.9, p. 53. 1981.
- (25) MAZZUCCHI, O. A. J. **Biodigestor rural**. São Paulo: CESP, 1980. 29 p.
- (26) CARVALHO, T.; NOLASCO, M. A. Créditos de carbono e geração de energia com uso de biodigestores no tratamento de dejetos suínos. **Revista Acad.** Curitiba, v.4, n.3, p. 23-32, jul./set. 2006.
- (27) KONZEN, E. A. **Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejados em forma líquida**. 1980. 56 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1980.
- (28) BOUALLAGUI, H. et al. Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste. **Process Biochemistry**, London, v. 39, n. 12, p. 2143-2148, 2004.
- (29) AHN, J. H.; FORSTER, C. F. The effect of temperature variations on the performance of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulated paper mill wastewater. **Process Biochemistry**, v. 7, n. 6, p. 589-594, 2002.
- (30) CHAE, K. J.; AM JANG.; YIM, S. K.; KIM, S. I. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. **Bioresource Technology**, Essex, v.99, p. 1-6, 2008.
- (31) DOTTO, R. B.; WOLFF, D. B. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. **Ciências Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2012.
- (32) BRYANT, M. P. Microbial ethane production – Theoretical aspects. **Journal of Animal Science**. v. 48, p. 193-201, 1979.
- (33) KONZEN, E. A. **Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejados em forma líquida**. 1980, 56f. Dissertação (Mestrado em Veterinária) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1980.
- (34) CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte, DESA, UFMG, 2. ed. p. 380, 2007.
- (35) BARREIRA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural**. 3. Ed. São Paulo: Ícone, 2011.
- (36) SOUZA, C. F.; LUCAS, J. J.; FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato: Considerações sobre a partida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.530-539, 2005.
- (37) PRIMAVESI, O. A. A pecuária de corte brasileira e o aquecimento global. **Embrapa Pecuária Sudeste**, São Carlos, ano I, n. 1, nov. 2007.
- (38) WINROCK. **Winrock International Brazil: Manual do biodigestor**. Salvador: WINROCK, p. 10, 2010.
- (39) NETO, A. P. **Biodigestor: Uma alternativa energética**. João Pessoa: Gráfica Mundial, v. 1, p. 92, 2006.
- (40) ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Lei nº 9.427. Brasília, DF, 1996. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?id_area=50>. Acesso em: 13 nov.2014.
- (41) CETEC, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Manual de construção e operação de biodigestores**. Belo Horizonte: CETEC, 1982.

Enviado: 10/08/2015
 Revisado: 11/11/2015
 Aceito: 26/10/2017