UFRRJ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

Produção de Biogás e Biofertilizante, a Partir da Biodigestão Anaeróbia de Dejetos de Bovinos, Oriundos da Bacia Hidrográfica do Guandu

Profa. Érika Pinheiro

RESUMO

A produção de leite no Brasil destaca-se como uma das principais atividades agropecuárias. Porém, a intensificação desse sistema de produção resulta em grandes concentrações de resíduos. Geralmente, esses resíduos são aplicados na lavoura sem tratamento prévio, salinizando o solo, eutrofizando os rios, entre outros. Recomenda-se o uso do biodigestor como uma alternativa viável de utilização racional dos resíduos orgânicos. O trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da produção de biogás e do potencial agronômico do biofertilizante, resultantes da biodigestão anaeróbica de dejetos de bovinos de leite, sob sistema orgânico e convencional de produção. Utilizaram-se oito protótipos de biodigestores de bancada abastecidos com os dejetos de bovinos de leite, sob produção orgânica, da Fazendinha do km 47 e, com os dejetos de bovino de leite, sob sistema convencional, provenientes da Pesagro-RJ. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições para cada tratamento. Após a coleta e biodigestão anaeróbica dos dejetos foram realizadas análises químicas, físicas e biológicas, de acordo com a Legislação do CONAMA 375/06. Após os 210 dias foi observada uma produção acumulada de 6,18 L de biogás a partir da biodigestão dos dejetos de bovinos sob sistema orgânico (DBSO) e 11,15 L de biogás para os dejetos de bovinos sob sistema convencional (DBSC). O DBSC também apresentou maior potencial energético e potencial de produção de biogás (m^3/kg de substrato, de sólidos totais e de sólidos voláteis) em relação ao DBSO. Essa maior produção de biogás nos DBSC está condizente com uma maior redução de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) nesse tratamento, com valores de redução de 27% e 33%, respectivamente No entanto, com relação à explosividade do biogás, o DBSO atingiu 100% de LEL (limites de explosividade inferior) 50 dias antes do DBSC. Isso demonstra que, houve maior produção de biogás no DBSC, porém de menor qualidade, no que diz respeito à concentração de metano, em comparação ao DBSO. Foi observada diferença estatística entre o material de entrada (afluente) e saída (efluente) no biodigestor para pH, condutividade elétrica (CE), ST, SV e umidade. A biodigestão anaeróbica elevou o pH e reduziu a CE no material efluente. Quanto aos biofertilizantes, observou-se diferença estatística entre os DBSO e DBSC tratando-se do pH e da condutividade elétrica (CE). Os biofertilizantes oriundos de DBSO e DBSC apresentaram um teor de C mínimo para serem considerados fertilizantes orgânicos, com valores de 97,14 e 91,04 g kg^{-1}, respectivamente. Os teores dos nutrientes Mg, K e Fe foram superiores nos biofertilizantes de DBSO e os de Ca, Mn, Cu e Zn foram maiores nos biofertilizantes de DBSC. Os teores de metais pesados, exceto o Ba, foram maiores nos biofertilizantes de DBSC. O biofertilizante do DBSC apresentou teor de Cd acima do permitido por lei para fertilizantes orgânicos. Conclui-se que, os sistemas de produção de leite influenciaram na produção do biogás e nas características químicas e físicas do biofertilizante. Os DBSC apresentaram-se mais eficientes na produção de biogás enquanto que, os DBSO demonstraram maior potencial de uso como adubo orgânico das culturas.

Palavras-chave: Biodigestão anaeróbica, biodigestor, dejetos agrícolas.

Fl.: 94 Proc.: 198 -GUANDU/05
Rubrica:

ABSTRACT

MATOS, Camila Ferreira. **Biogas and biofertilizer from cattle manure under organic and conventional production system.** 2016. 75p Dissertation (Master Science in Agricultural and Environmental Engineering). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica , RJ, 2016.

Milk production in Brazil stands out as one of the main agricultural activities. The intensification of these animal production systems results in large concentrations of residues. Generally, these residues are applied in the fields without treatment, contaminating the ground water, eutrophication of rivers, among others. It is recommended the use of biodigester as a viable and practical alternative to the use of organic waste. In this context, this study aimed to evaluate the efficiency of biogas production and agronomic potential of biofertilizer, resulting from the biodigestion of manure from dairy cattle under organic and conventional production systems. Eight prototypes bench biodigesters were used (supply batch) filled with dairy cattle manure under organic production, of Fazendinha of km 47 and, with the dairy cattle waste in conventional production system, from industry of cattle of Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro. The experimental design was completely randomized with four repetitions for each treatment. After the anaerobic biodigestion of waste, chemical, physical and biological analyzes were performed, according to the legislation of the CONAMA 375/06. After 210 days was observed a cumulative production of 6.18 L of biogas from the biodigestion of manure from cattle under organic system (DBSO) and 11.15 L biogas for cattle manure under conventional system (DBSC). The DBSC also have a higher energy potential and biogas potential (m3 / kg substrate, total solids and volatile solids) relative to DBSO. This increased production of biogas in DBSC is consistent with a greater reduction in total solids (TS) and volatile (SV) in this treatment, with reduced values of 27% and 33%, respectively. However, with regard to biogas explosive, the DBSO reached 100% LEL (lower explosive limit) 50 days before the DBSC. This demonstrates that there was increased production of biogas in DBSC, but lower quality, with respect to the methane concentration compared to DBSO. Statistical difference was observed between the input material (influent) and outlet (effluent) in the digester for pH, electrical conductivity (EC), ST, SV and humidity. Anaerobic biodigestion increased pH and reduced EC in effluent material. The case of bio-fertilizers, it was observed statistical difference between DBSO and DBSC in the case of pH and electrical conductivity (EC). The biofertilizer derived from DBSO and DBSC had a minimum carbon content to be voted organic fertilizers, with values of 97.14 and 91.04 g kg^{-1}, respectively. The levels of nutrients Mg, K and Fe were higher in biofertilizers DBSO and Ca, Mn, Cu and Zn were higher in biofertilizers DBSC. heavy metal contents, except Ba, were higher in biofertilizers DBSC. The biofertilizer of DBSC presented Cd content higher than that permitted by law to organic fertilizers. In conclusion, the milk production systems influence the production of biogas and the chemical and physical characteristics of biofertilizer. The DBSC had become more efficient in the production of biogas while the DBSO demonstrated greater potential for use as organic fertilizer crop.

Keywords: Anaerobic biodigestion, biodigester, agricultural waste.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados preliminares do desempenho de biodigestores modelo Indiano e Chinês, com capacidade de 5,5m³ de biomassa, operado com esterco bovino....22

Tabela 2. Potencial acumulado de produção de biogás (por kg de substrato, de ST e de SV adicionado) 49

Tabela 3. Potencial de produção de biogás (por L de substrato, de ST e de SV adicionado)....50

Tabela 4. Análise da conversão energética de biogás 55

Tabela 5. Redução (%) dos sólidos totais (ST) e voláteis (SV) após o processo de biodigestão....56

Tabela 6. Valores médios de potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), teores de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) e umidade (U) no material afluente (A) e efluente (E)....58

Tabela 7. Valores de carbono (C) e matéria orgânica (MO) nos biofertilizantes oriundos de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção....60

Tabela 8. Valores de macro e micronutrientes e metais pesados nos biofertilizantes oriundos de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção....61

Tabela 9. Valores médios de micronutrientes e metais pesados nos biofertilizantes oriundos de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção. E, a concentração máxima permitida pela Legislação do CONAMA 375/06 e os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos pelo DECRETO Nº 4.954....63

Tabela 10. Concentração de coliformes termotolerantes (NMP/g de ST) nos biofertilizantes de dejetos de bovino, sob sistema orgânico e convencional de produção....63

Tabela 11. Valores médios de produção de biogás (m³) por semana 77

Tabela 12. Valores médios de produção de biogás (m³/kg de substrato) 78

Tabela 13. Valores médios de produção de biogás (m³/kg de ST) 79

Tabela 14. Valores médios de produção de biogás (m³/kg de SV) 80

Rubrica: ..... FL: 12 PROC: 19.8 -CUANDO/ 15

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Biodigestor modelo Indiano. 20
Figura 2. Biodigestor modelo Chinês....21
Figura 3. Biodigestor modelo Canadense....22
Figura 4. Etapas metabólicas da digestão anaeróbia....23
Figura 5. Detalhe dos protótipos dos biodigestores construídos para o experimento....32
Figura 6. Detalhe do interior (A) e do exterior (B) dos protótipos de biodigestores....33
Figura 7. Fazendinha Agroecológica do Km 47....34
Figura 8. Setor de bovinocultura leiteira da PESAGRO-RJ....36
Figura 9. Detalhe da coleta de esterco de bovino no sistema orgânico de produção....37
Figura 10. Detector digital para a quantificação da concentração dos gases do biogás gerado....38
Figura 11. Limite de inflamabilidade do gás metano....40
Figura 12. Digestor MARS Xpress....42
Figura 13. Detalhe da preparação (A) e da análise biológica (Coliforme Termotolerante) no biofertilizante (B)....42
Figura 14. Produção média semanal de biogás (m^3), a partir da biodigestão anaeróbica de dejetos de bovinos de leite, sob sistema orgânico e convencional de produção....44
Figura 15. Produção acumulada de biogás (L) durante todo o período de biodigestão anaeróbica (210 dias). Valores seguidos de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (P=0,05)....46
Figura 16. Potencial de produção de biogás em: a) m^3/kg de substrato, b) m^3 de biogás/kg de ST e c) m^3 de biogás/kg de SV....49
Figura 17. Caracterização semanal do biogás produzido durante as 30 semanas de biodigestão....52

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SÍMBOLOS

DBSO	dejetos de bovinos sob sistema orgânico de produção;
DBSC	dejetos de bovinos sob sistema convencional de produção;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
FAO	Food and Agriculture Organization;
GEE	gases do efeito estufa;
LEL	menor Limite de Explosividade (Lower Explosive Limit);
NMP	número mais provável;
PVC	policloreto de vinil;
ST	sólidos totais;
SV	sólidos voláteis;
TRH	Tempo de retenção hidráulica;
UEL	maior Limite de Explosividade (Upper Explosive Limit).

Fl.: 93 Proc.: 148 GUANDU/15
Rubrica:

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL 8

2 OBJETIVO GERAL 11

2.1 Objetivos específicos 11

3 REVISÃO DE LITERATURA 12

3.1 Bovinocultura de Leite 12

3.1.1 Perfil da bovinocultura no Brasil 12

3.1.2 Perfil da bovinocultura leiteira no Estado do Rio de Janeiro 12

3.1.3 A produção de leite em sistema orgânico de produção 13

3.2 Biodigestores 14

3.3 Biodigestão anaeróbica 18

3.4 Biogás 22

3.5 Biofertilizante 25

4 MATERIAL E MÉTODOS 27

4.1. Construção dos protótipos de biodigestores 27

4.2 Tratamento experimental 29

4.3 Preparo dos substratos para o abastecimento dos biodigestores 32

4.4 Análises de produção do biogás 33

4.4.1. Volume do biogás 33

4.4.2 Potencial de produção de biogás 34

4.4.3 Determinação do índice de explosividade do biogás 34

4.5 Caracterização do biofertilizante 35

4.6 Análise estatística 37

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 39

5.1 Produção de biogás 39

5.1.1 Produção acumulada de biogás 41

5.1.2 Potencial de produção de biogás 42

5.1.3 Explosividade do biogás 46

5.1.4 Análise de conversão energética 49

5.2 Biofertilizante 51

5.2.1 Redução de sólidos totais e voláteis no processo de biodigestão anaeróbica 51

5.2.3 Teores de carbono e matéria orgânica nos biofertilizantes 54

5.2.4 Teores de macro e micronutrientes e metais pesados nos biofertilizantes 55

5.3 Análises biológicas no biofertilizante 58

6 CONCLUSÕES 60

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 61

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62

Fl.: 74 Proc.: 1718-GUANDU/15 Rubrica:

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção de leite no Brasil destaca-se como uma das principais atividades agropecuárias, em razão de sua capacidade de geração de emprego e renda, e conexão com outros setores agroindustriais (FERREIRA et al., 2008).

A produção de leite no Brasil foi de 5,64 bilhões de litros no segundo trimestre de 2015. Este número indica quedas de 2,6% sobre o volume do produto produzido no mesmo período de 2014 e, de 7,9% sobre o registrado no primeiro trimestre de 2015. Da produção total de leite, 41,3% foi localizada no Sudeste do país, destacando o Estado de Minas Gerais com 26,7% de participação da produção nacional. O rebanho de vacas ordenhadas no Brasil é de 22.954.537 cabeças e o número de animais abatidos foi de 7.732, no primeiro trimestre de 2015 (IBGE, 2015).

A cadeia leiteira no Brasil tem procurado se adequar aos novos padrões de qualidade exigidos pela sociedade, visando atingir os parâmetros internacionais, com o objetivo de aumentar as exportações e a garantir um alimento seguro para os consumidores (GUANDALIM; CHAVES, 2014). Porém, a intensificação dos sistemas de produção animal resulta em grandes concentrações de resíduos, com a consequente contaminação do ar, dos solos, das águas e na proliferação de doenças (BIAGIOLI, 2013). Quando mal manejados, esses resíduos são fontes de contaminação ambiental e causam risco à saúde pública, através de seu descarte de forma inadequada, principalmente na criação animal em confinamentos (NOVAES, 2012).

Dentre os resíduos originados da pecuária, destaca-se o esterco animal. Tradicionalmente, o esterco animal é classificado como material que oferece pouco ou nenhum retorno para o produtor rural (OLIVIER, 2008), que muitas vezes desconhece os benefícios energéticos que esse resíduo pode trazer e, os riscos que suas atividades produtivas acarretam ao meio ambiente (SHAFFER, 2014). Geralmente, esses resíduos são aplicados na lavoura sem o tratamento prévio, contaminando o lençol freático, a eutrofização de rios, dentre outros. Dentre as soluções, a FAO (Food and Agriculture Organization) (1995), recomenda o uso do biodigestor como uma alternativa viável, racional e prática de utilização desses resíduos orgânicos (RIBEIRO, 2014). Esses são compostos por câmaras de fermentação anaeróbica, onde ocorre o processo de biodigestão anaeróbica. Esse processo apresenta-se como uma excelente alternativa para o tratamento e a reciclagem energética dos

nutrientes presentes nos dejetos animais, reduzindo o potencial poluidor e os riscos sanitários, além de promover a geração do biogás e do biofertilizante (RODRIGUES et al., 2014).

A produção de biogás em propriedades rurais associa-se a fatores como preservação do meio ambiente, uso para calefação e iluminação da própria propriedade (DEGANUTTI et al., 2002), e ao uso de combustível em substituição ao gás natural e ao gás liquefeito de petróleo (ESPERANCINI et al., 2007). Sendo assim, o uso dos biodigestores proporciona o retorno ao sistema produtivo de parte da energia que seria perdida, por meio do biogás (ORRICO et al., 2007, SANTOS et al., 2007). Simultaneamente à obtenção do biogás, os materiais orgânicos submetidos ao processo de digestão anaeróbia por meio de biodigestor, produzem um adubo orgânico, o biofertilizante, que pode ser utilizado na agricultura como fonte de nutrientes para as culturas (BOCOLI et al., 2016).

Segundo o Ministério de Ciência e Tecnologia (2010), o setor de agropecuário é o maior responsável pelas emissões de CH_4, representando 71% das emissões desse gás no ano de 2005. A utilização de biomassa como fonte renovável e sustentável de energia, seja como efluentes industriais ou resíduos rurais, permite diversificar a matriz energética do Brasil, além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa (PECORA, 2006). No ano de 2012, o Governo Federal implementou o Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Este Plano é uma importante parte do compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), assumido pelo Brasil na 15ª Conferência das Partes – COP15 ocorrida em Copenhague, no ano de 2009. O Plano ABC é composto por sete programas, o sexto programa diz respeito ao "Incentivo do uso de Tratamento de Dejetos Animais para Geração de Biogás e de Composto Orgânico".

O uso indiscriminado de fertilizantes minerais pode causar sérios danos ao meio ambiente e provocar uma escassez precoce de muitas reservas naturais de alguns nutrientes para a agricultura (VILLELA JUNIOR et al., 2007). A elevada eficiência do biofertilizante quando se comparado aos fertilizantes químicos se dá pelo fato do material já se encontrar em avançado grau de decomposição, facilitando a solubilização de alguns nutrientes para as plantas (ARRUDA et al., 2002). Porém, o mais importante é a estabilização do material orgânico através do processo de biodigestão, proporcionando a adição de matéria orgânica no solo, na forma de húmus, importante para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A implantação de biodigestores na zona rural é um projeto viável tanto para o meio ambiente quanto para o produtor, pois é uma maneira de viabilizar a produção de um

Fl.: 45 Proc.: 198 -GUANDU/15
Rubrica:

biofertilizante, oneroso para o pequeno produtor e ainda contribuir para tornar os produtores rurais autossustentáveis energeticamente (RANZI et al., 2004). Além da diminuição do desmatamento de forma desordenada, do reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados, da redução da emissão de odores e gases poluentes para a atmosfera.

Na agricultura orgânica, a atividade animal deve estar, quando possível, integrada à produção vegetal, visando assim, a otimização da reciclagem dos nutrientes (dejetos animais, biomassa vegetal), menor dependência de insumos externos e potencialização de todos os benefícios diretos e indiretos advindos dessa integração (SOARES, 2008).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é avaliar a produção de biogás e o potencial uso agronômico do biofertilizante, resultantes a partir da biodigestão anaeróbica de dejetos da bovinocultura de leite, sob sistema orgânico e convencional de produção.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a produção do biogás e o potencial uso agronômico do biofertilizante produzido, a partir do processo de biodigestão de dejetos de bovinos de leite sob sistema convencional e orgânico de produção.

2.1 Objetivos específicos

i) Caracterizar química, física e biologicamente os dejetos (urina+ fezes) de bovinos de leite, sob sistema orgânico e convencional de produção;
ii) Avaliar o comportamento da biodigestão anaeróbica dos dejetos provenientes da produção de bovinos de leite, sob sistema orgânico e convencional de produção;
iii) Quantificar e avaliar a eficiência da produção de biogás, durante o processo de biodigestão anaeróbica dos dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção;
iv) Quantificar o potencial de produção de biogás dos dejetos de bovinos leiteiros, sob sistema orgânico e convencional de produção;
v) Caracterizar química, física e biologicamente os biofertilizantes produzidos, a partir dos diferentes dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção, visando o seu potencial uso como adubo orgânico das culturas.

Fl.: 96 Proc.: 198-GUANDU/...
Rubrica:

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Bovinocultura de Leite

3.1.1 Perfil da bovinocultura no Brasil

A produção leiteira no Brasil é uma das principais atividades desenvolvidas no setor rural, servindo de fonte de renda para grande parte das pequenas propriedades (BRAND et al., 2015). A pecuária exerceu forte influência na expansão econômica, destacando-se na pauta das exportações e, também, demostrando importante no abastecimento do mercado interno (TEIXEIRA et al., 2014).

De acordo com dados do IBGE (2013), a quantidade efetiva de bovinos no país foi de 211.764 milhões de cabeças, sendo que, a região Centro-Oeste obteve maior participação (33,6%), seguida das regiões Norte (21,1%) e Sudeste (18,6%). As Regiões Nordeste e Sul apresentaram percentuais de participação de 13,7% e 13,0%, respectivamente. O estado do Rio de Janeiro apresentou, no ano de 2013, um rebanho de 2.459.760 cabeças, sendo o município de Seropédica responsável por 7.220 cabeças desse efetivo (IBGE,2013).

Atualmente, o Brasil destaca-se como maior exportador de carne bovina do mundo (8,169 milhões de toneladas) e ocupa a quinta posição na produção de leite (34,255 milhões de litros) (IBGE, 2013). O mercado internacional de carne bovina nos últimos anos é impulsionado pela crescente demanda por alimentos em razão do crescimento populacional mundial e o desenvolvimento econômico em países emergentes (FLORINDO et al., 2014). O aumento da produtividade é resultante das adequações de manejo e reforma das pastagens gerando maiores taxas de lotação de animais por hectare (MAPA, 2012; FLORINDO et al., 2014).

3.1.2 Perfil da bovinocultura leiteira no Estado do Rio de Janeiro

No Estado do Rio de Janeiro, a pecuária leiteira é predominantemente realizada por pequenos produtores, que têm capacidade de produção em torno de 50 litros de leite/dia, segundo dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) em 2010. Esses produtores caracterizam-se pela ocupação de pequenas propriedades rurais e adoção de sistemas de criação à base de pastagens de *Brachiaria*, que na maior parte do território encontra-se em estado de degradação, com baixa ou nenhuma reposição de nutrientes (Brás et al., 2013), sistema manual de ordenha, baixo percentual de animais

produtivos na composição do rebanho, ausência ou deficiência no registro de índices zootécnicos e dados sobre a propriedade. Todos esses fatores acarretam num baixo nível tecnológico e apresentam correlação direta com a baixa taxa de remuneração do capital investido na atividade (FLORIÃO, 2013).

De acordo com dados da Federação da Agricultura, Pecuária e Pesca do Estado do Rio de Janeiro (FAERJ, 2010), cerca de 80% dos produtores do estado destinam a sua produção leiteira para a venda, sendo que, deste percentual, 62% é formado por pequenos produtores. O pequeno volume produzido pela maioria contribui para piorar os indicadores de eficiência técnica e aumentar os custos fixos por litro. Silva e Marafon (2004) verificaram que os pequenos proprietários no Rio de Janeiro têm poucas possibilidades de realizar investimentos em suas terras, visto que, têm retornos muito reduzidos para permitir a capitalização de suas unidades de produção.

A cadeia produtora de leite no estado do Rio de Janeiro, especialmente tratando dos pequenos produtores, ainda apresenta deficiências intrínsecas que podem comprometer a produtividade e a eficiência em obtenção de leite (SOUSA et al., 2011). A região Noroeste Fluminense apresentou-se como a mais desenvolvida e apta para a produção de leite de qualidade quando comparada à região central do Estado.

3.1.3 A produção de leite em sistema orgânico de produção

A agropecuária sob sistema orgânico objetiva estabelecer sistemas agrícolas ecologicamente equilibrados e estáveis, economicamente produtivos em grande, média e pequena escala, de elevada eficiência tratando-se da utilização dos recursos naturais de produção. Esse sistema deve ser socialmente bem estruturado, resultando em alimentos saudáveis, livres de resíduos tóxicos, produzidos em total harmonia com a natureza e reais necessidades da humanidade (PASCHOAL, 1994).

O Brasil dispõe, aproximadamente, de 900 mil hectares de áreas sob manejo orgânico, além das áreas de extrativismo natural incorporadas recentemente, o que representa um total de mais de sete mil propriedades rurais produtoras de orgânicos. O crescimento das propriedades rurais se deve à adequação do sistema de produção orgânica às características de pequenas propriedades com gestão familiar. Além de fixar o homem no campo, esse sistema melhora o meio ambiente, promove a coletividade, valoriza o empreendedorismo e se

Fl.: 42 Proc.: 198-GUANDU/15
Rubrica:

preocupa com a educação e a qualidade de vida dos agricultores e da população em geral (ALVES, 2005).

A produção de leite no sistema orgânico não chega a 0,1 % da produção total, que foi de aproximadamente 25 milhões de litros/ano atingidos em 2005, devido a diversos fatores, tais como: falta de trabalhos de extensão rural para difundir e viabilizar o processo para pequenos produtores; carência de pesquisas científicas adequando a produção animal no sistema orgânico à realidade tropical do Brasil, além da alimentação animal, da adubação das pastagens, dos padrões raciais, cuidados sanitários com o rebanho como controle de endo e ectoparasitos e mastites (ALVES, 2005).

Apesar de incipiente, a produção orgânica de leite é um nicho de mercado que cresce 30% ao ano no País. Devido às características peculiares à produção orgânica e ao crescimento do mercado orgânico, a atividade possui um grande potencial (ALVES, 2005).

3.2 Biodigestores

A partir da crise do petróleo da década de 70, a economia das nações dependentes dessa fonte energética vem sofrendo profundas modificações buscando sua substituição. No Brasil, estudos estão sendo realizados com o objetivo de adequar novas fontes substitutivas a aos recursos não renováveis. Uma das opções estudadas para a produção de energia, a baixo custo, que vem apresentando resultados favoráveis é o biogás. Dessa forma, a partir do ano de 1976, os estudos relacionados ao seu aproveitamento foram intensificados (DEGANUTTI et al., 2002).

Define-se como biodigestor uma câmara hermeticamente fechada onde ocorre a biodigestão anaeróbica da matéria orgânica (NOGUEIRA, 1986). Este é um processo onde uma série de microrganismos, na ausência de oxigênio, atua na transformação da matéria orgânica, passando de moléculas mais complexas para aquelas com estruturas mais simples (CÔTE et al., 2006; SILVA et al., 2012), que quando metabolizadas, resultam numa mistura de gases e numa série de compostos reduzidos (WALKER, 2009).

A utilização de biodigestores contribui para a integração das atividades agropecuárias, visto que o resíduo agrícola que com pouco ou nenhum valor comercial poderá ser reutilizado para outros fins. A partir daí, é proporcionado aumentos na produção agrícola e energética com a transformação dos produtos e agregação de valor (FERNANDES; TESTEZLAF, 2002).

Além da produção de biogás, obtém-se como produto final do processo de biodigestão o biofertilizante, que pode ser utilizado como adubo orgânico na agricultura, além de reduzir

também o gasto energético utilizado na produção de fertilizantes minerais. O Brasil destaca-se como o terceiro maior produtor de alimentos do mundo, mas também é o quarto maior importador de fertilizantes. Os biofertilizantes podem ajudar sensivelmente a agricultura do país e representar uma importante fonte de renda para os empreendimentos de biodigestores.

Os biodigestores podem ser classificados de acordo com a sua forma de operação (batelada ou contínuo) e modelo. Segundo Deganutti et al.(2002), o biodigestor cuja forma de operação é em batelada é abastecido de uma única vez, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente, após o término do período efetivo de produção de biogás. Já o biodigestor de abastecimento contínuo, é alimentado por dejetos com certa regularidade durante o processo de biodigestão. Existem vários modelos de biodigestores, sendo os mais comuns no meio rural os indianos, chineses e canadenses.

O biodigestor modelo Indiano (Figura 1) foi o primeiro posto em funcionamento regular, em Bombaim, na Índia, no início do século passado (SGANZERLA, 1983). Este modelo possui uma campânula flutuante sobre o substrato em biodigestão ou em água. Este sistema faz com que a pressão seja mantida constante, já que o gasômetro se desloca à medida que o gás é produzido. Sua estrutura é composta de uma parede central que serve para dividir o tanque de fermentação em duas câmaras, para assim permitir que o material possa circular pelo interior da câmara de fermentação misturando o substrato e favorecendo o processo de biodigestão. O biodigestor Indiano tem a vantagem de ser de fácil construção, porém o gasômetro de metal pode encarecer o custo final e inviabilizar o projeto de instalação do mesmo (DEGANUTTI et al., 2002), além da necessidade periódica de pintura da campânula, que geralmente pode sofrer corrosão diminuindo sua vida útil.

Fl.: 98 Proc.: 148-GUANDU/...
Rubrica:

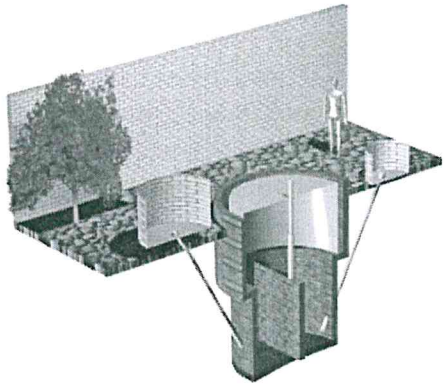


Figura 1. Biodigestor modelo Indiano.
Fonte: Deganutti et al. (2002).

O modelo de biodigestor Chinês (Figura 2) é rústico e geralmente construído em alvenaria abaixo do nível do solo (COLDEBELLA, 2006). Neste tipo de biodigestor uma parcela do gás formado na caixa de saída é liberada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás. Por esse motivo, as construções de biodigestores do tipo chinês (Figura 2) não são utilizadas e recomendadas para instalações de grande porte (LUCAS JUNIOR, 1987). O modelo Chinês é construído basicamente em alvenaria, não sendo necessário o uso de gasômetro em chapa de aço. Esse fato reduz os custos, contudo, pode haver problemas com vazamento do biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada (DEGANUTTI et al., 2002). Por serem construídos abaixo do solo, os biodigestores modelo chinês ficam mais protegidos das variações climáticas da superfície, principalmente em regiões que apresentam baixas temperaturas no inverno (ANDRADE et al.,2012), fato este que influencia diretamente a produção de biogás.

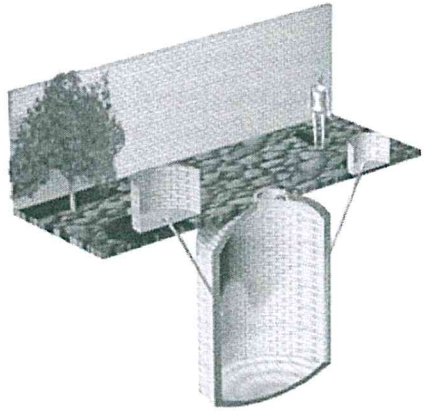


Figura 2. Biodigestor modelo Chinês.
Fonte: Deganutti et al. (2002).

Comparando-se os modelos Chinês e Indiano, analisa-se um desempenho semelhante entre eles (Tabela 1), apesar do modelo Indiano ter apresentado em determinados experimentos uma ligeira eficiência quanto à produção de biogás e redução de sólidos no substrato se comparado ao Chinês (LUCAS JÚNIOR, 1987; DEGANUTTI et al., 2002). Esses dados são demonstrados nos estudos de Lucas Junior (1987) e Deganutti et al. (2002), que evidenciam a maior eficiência do biodigestor modelo indiano no que diz respeito a redução de sólidos e produção de biogás (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados do desempenho de biodigestores modelo Indiano e Chinês, com capacidade de 5,5 m³ de biomassa, operado com esterco bovino.

Parâmetros	Biodigestor	
	Chinês	Indiano
Redução de sólidos (%)	37	38
Produção média (m³/dia)	2,7	3,0
Produção média (L/m³ de substrato)	489	538

Fonte: Adaptado de Lucas Júnior (1987) e Deganutti et al. (2002).

Fl.: 99 Proc.: 198-GUANDU/15
Rubrica:

Segundo Barrera (1993) citado por Perminio (2003), a produção de biofertilizante é a mesma nos dois modelos. A menor capacidade de aproveitamento da produção de gás do modelo chinês é insignificante para as condições climáticas do Brasil. Os órgãos brasileiros de extensão rural optaram por implantar nas propriedades rurais o modelo chinês, visto que é de mais fácil construção e tecnologia mais simples.

O modelo canadense (Figura 3) é um biodigestor horizontal, com caixa de carga feita em alvenaria e com o comprimento da largura maior que a profundidade, possuindo então, uma maior área de exposição ao sol, possibilitando uma grande produção de biogás e também evitando o entupimento (CASTANHO; ARRUDA, 2008). A câmara de fermentação é subterrânea e revestida com lona plástica e a manta superior tem objetivo de armazenar o biogás produzido de modo a formar uma campânula de armazenamento, como nos outros biodigestores. Há uma caixa de saída onde o efluente é liberado, um registro para saída do biogás e um queimador, que fica conectado a esse registro (PEREIRA et al., 2009). Sua desvantagem é a maior sensibilidade às variações térmicas que os outros modelos. Sua utilização é recomendada para locais de clima tropical, onde predominam temperaturas altas e constantes (MARI, 2014).

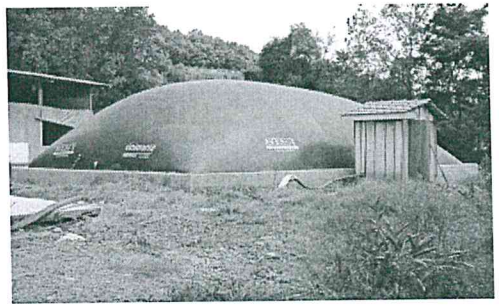


Figura 3. Biodigestor modelo Canadense.

Fonte: Pig Light. (2008).

3.3 Biodigestão anaeróbica

A digestão anaeróbia é um processo microbiológico que ocorre na ausência de oxigênio, onde a matéria orgânica é degradada produzindo, entre outros sub-produtos, uma mistura de gases, principalmente, o metano ($C\text{-}CH_4$) e o dióxido de carbono ($C\text{-}CO_2$) (CHERNICHARO, 1997, apud OLIVEIRA, 2012).

A biodigestão anaeróbia apresenta-se como uma alternativa para o tratamento e a reciclagem energética dos nutrientes contidos nos dejetos animais e resíduos vegetais reduzindo o potencial poluidor e os riscos sanitários, além de promover a geração do biogás e de biofertilizante (RODRIGUES et al., 2012).

O processo de digestão anaeróbia pode ser utilizado para resíduos orgânicos, tanto sólidos quanto líquidos, constituindo uma forma eficiente de tratamento, por trabalhar com quantidades consideráveis de matéria orgânica (WALKER, 2009). Esse processo consiste em uma atividade realizada por grupos específicos de bactérias, que atuam sobre os dejetos orgânicos. O resultado final é a produção de biogás, que é composto principalmente pelo gás metano e por uma mistura de outros gases (AMARAL et al., 2004), como o dióxido de carbono, hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico e amônia (PERMINIO, 2013). Ao final do processo de biodigestão tem-se também a produção de biofertilizante, um substrato rico em nutrientes e material orgânico humificado (AMARAL et al., 2004).

O processo de biodigestão anaeróbia compreende as fases hidrólise enzimática, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Figura 4) (CHERNICHARO, 2007).

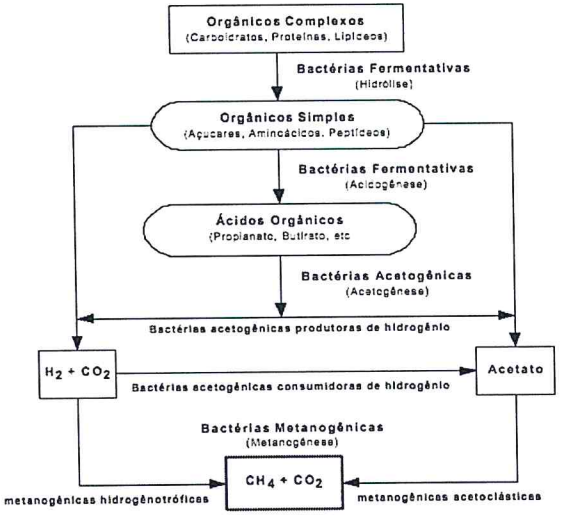


Figura 4. Etapas metabólicas da digestão anaeróbia (CHERNICHARO, 1997).

Fl.: 100 Proc.: 198-GUANDU/15
Rubrica:

Na hidrólise enzimática os materiais orgânicos complexos são hidrolisados e convertidos em moléculas menores por meio da fermentação. Atuam nessa fase enzimas extracelulares excretadas pelas bactérias hidrolíticas fermentativas (MARI, 2014).

A acidogênese é fase na qual as moléculas menores resultantes da hidrólise são metabolizadas por bactérias dos gêneros *Clostridium, Staphylococcus, Streptococcus, Desulphovibrio, Lactobacillus e Actinomyces*, convertendo-se em diversos compostos mais simples (TCHOBANOGLUS et al., 1993; CHERNICHARO, 2007; RIZZONI 2012). As bactérias formadoras de ácidos (bactérias fermentativas) são conhecidas como produtoras de hidrogênio e convertem os produtos provenientes da hidrólise em ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido lático, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio (AZEVEDO, 2010).

Na acetogênese, as bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos ácidos orgânicos em substrato para os microrganismos metanogênicos (CHERNICHARO, 1997).

Durante a metanogênese, o metano é produzido por bactérias acetotróficas ou pelas bactérias hidrogenotrófica. As acetotróficas usam acetato, produzindo gás carbônico (CO_2) e metano (CH_4). Ainda que poucas espécies de bactérias metanogênicas sejam capazes de formar metano a partir do acetato, as mesmas são responsáveis por 60 a 70% de toda produção de metano. Essas pertencem a dois gêneros principais: *Methanosarcina e Methanosaeta* (SIQUEIRA, 2012).

A biodigestão anaeróbia depende de alguns fatores que podem interferir diretamente no resultado final do sistema, com consequentes perdas dos potenciais energéticos contidos nos dejetos (ORRICO JÚNIOR et al., 2010). Como a biodigestão é um processo biológico, vê-se a necessidade de manter condições favoráveis para que ocorra a eficiência do processo, que pode ser afetado por vários fatores que podem favorecê-lo ou não, interferindo na degradação do substrato, no crescimento e declínio dos microrganismos e na produção de biogás. Dentre os fatores mais importantes, destacam-se o pH, a temperatura, o tempo de retenção hidráulica (TRH), a presença de inóculo e nutrientes, a composição do substrato e a porcentagem de sólidos totais e, a interação entre os microrganismos envolvidos (ORRICO JUNIOR, 2007).

O pH ideal para o processo de biodigestão é em torno de 6,0 à 8,0, sendo ótimo entre 7,0 e 7,2. As bactérias metanogênicas acetoclásticas são extremamente sensíveis a variação brusca de qualquer fator, então uma possível perturbação no pH compromete a atuação desses microrganismos (OLIVEIRA, 2012). Em substrato formado pela combinação de esterco de

ovinocaprino, manipueira e biofertilizante, a faixa ótima de pH encontrada para o desenvolvimento das bactérias metanogênicas foi entre 6,2 e 7,8, oferecendo assim, estabilidade para o funcionamento do sistema (SILVA et al., 2013).

A temperatura é um dos principais fatores físicos no processo de biodigestão, pois influencia diretamente a velocidade de reação. Em função do tipo de bactéria, o processo pode ocorrer numa faixa de 20 à 70 °C (LUCAS JR; SANTOS, 2000). De acordo com o estudo de Casto e Cortez (1998), a temperatura mais adequada para produção de biogás, obtida em experimento em laboratório com biodigestor rural modelo indiano, foi de 31 °C.

O TRH é o intervalo de tempo necessário de permanência do dejeto dentro do biodigestor para que ocorra o processo de biodigestão de maneira adequada (COSTA, 2009), sendo esse fator ligado diretamente ao teor de sólidos totais (ST) do substrato (AUGUSTO, 2007). De acordo com Orrico Júnior et al. (2010), o tempo de retenção hidráulica representa o período necessário para a mistura ser digerida no biodigestor, o que ocorre quando a produção de biogás é máxima, definindo assim o ponto de melhor qualidade do biogás no processo de biodigestão anaeróbia. Quanto mais carga diária de biomassa é colocada no biodigestor, menor é o tempo de retenção. No entanto, o tempo de retenção reduzido pode tornar a digestão incompleta, desencadeando um desequilíbrio no processo. Oliveira (2011) ao avaliarem os benefícios do uso de diferentes doses de enzimas e tempos de retenção hidráulica (7, 14 e 21 dias) sobre a produção de biogás, recomendaram a utilização da concentração de até 1,0 g L^{-1} de enzima e tempo de retenção hidráulica de somente 7 dias.

Segundo Diesel et al. (2002), o tempo de retenção necessário para degradar a matéria orgânica pode demorar de 20 a 50 dias. De acordo com Silva e Abud (2014), um TRH longo pode ser sinal de pouca conversão de matéria orgânica e, consequentemente, baixa eficiência do biodigestor, que vai depender também do tipo de substrato e da utilização de inóculo.

A adição de inóculo consiste em utilizar parte do material que já passou pelo processo e que é capaz de fornecer ao novo substrato uma população adicional de microrganismos típicos da biodigestão anaeróbia. Em estudo realizado por Xavier e Lucas Júnior (2010), a adição de 40% de inóculo (v/v) junto aos substratos de biodigestores operados em batelada para tratamento e/ou reciclagem de dejetos de vacas leiteiras em lactação, permitiu maiores produções de biogás (0,07 m^3 por kg de dejeto), mais rápida utilização do mesmo (4 dias a partir do inicio do processo de biodigestão) e menores tempos de retenção hidráulica (até 45 dias), o que reduz o volume e o custo do biodigestor.

Fl.: 101 Proc.: 148-GUANDU/15
Rubrica:

No que diz respeito ao tipo de substrato, a forma física da biomassa deve ser levada em consideração. De acordo com Tonissi et al. (2011), quanto menor o tamanho da partícula, maior a área de contato superficial, o que favorece à ação dos microrganismos, contribuindo para o processo na etapa de degradação (acidogênese).

Viriato et al. (2015) estudaram a influência de três diferentes tamanhos de partículas e de concentrações de sólidos totais no processo de co-digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais mais lodo de esgoto sanitário. Nesse estudo concluíram que a taxa de produção de biogás nos tratamentos estudados foi inversamente proporcional a granulometria do substrato e a concentração de sólidos totais, em virtude das pequenas partículas proporcionarem uma maior área de superfície de contato disponível para os microrganismos, resultando em aumento da atividade microbiana, consequentemente propiciando maior taxa de produção de biogás.

3.4 Biogás

Na segunda metade do século XIX surgiu a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível. Apesar deste fato, o biogás já era conhecido anteriormente, na produção de gás combustível advindo de resíduos orgânicos. Em 1776, Alessandro Volta, pesquisador italiano, descobriu que o gás metano já exista, a partir da decomposição de restos vegetais em ambientais confinados, sendo ele incorporado ao chamado "gás dos pântanos" (GASPAR, 2003).

Humphrey Davy, no ano de 1806, na Inglaterra identificou um gás rico em carbono e dióxido de carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares úmidos. No entanto, apenas em 1857, em Bombaim, Índia, foi construída a primeira instalação operacional com o objetivo de produzir gás combustível. Em 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, Inglaterra, produzindo biogás com o objetivo de iluminar as ruas. (NOGUEIRA, 1986 citado por GASPAR, 2003).

O biogás é uma mistura gasosa combustível gerada pela fermentação da matéria orgânica. A proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o tipo de biodigestor e o substrato a digerir. No entanto, no geral, o biogás é constituído principalmente por cerca de 60 a 70% de metano, 30 a 40% de dióxido de carbono e outros gases como nitrogênio, oxigênio, hidrogênio e gás sulfídrico (SANTANA et al., 2012). Dependendo da eficiência do processo, influenciado por fatores como carga orgânica, pressão e temperatura

durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40 e 80% de metano (GALBIATTI et al., 2010).

O biogás é um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado semelhante ao gás natural, composto por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear. Esse combustível pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, contribuindo para a redução dos custos de produção (CASTANHO; ARRUDA, 2008). A composição do biogás varia, especialmente, conforme a temperatura no interior do biodigestor, o resíduo com que é alimentado e o tempo de retenção hidráulica (WALKER, 2009). A qualidade do biogás como combustível está relacionada ao seu poder calorífico, que varia em função da porcentagem de CH_4 presente.

A separação de sólidos totais no processo de biodigestão anaeróbia em biodigestores do tipo batelada com dejetos de bovinos de corte resultou num substrato de melhor qualidade para produção de CH_4 (ZANATO, 2014). Além disso, os trabalhos têm demostrado que, com o aumento da proporção de concentrado na dieta animal, maior é a produção de CH_4. Orrico Júnior. et al. (2012) trabalhando com diferentes relações de volumoso e concentrado (40:60 e 60:40) observou que, a maior degradação dos dejetos provenientes da dieta com maior proporção de concentrado refletiu diretamente sobre a produção de CH_4.

A maneira mais prática para se utilizar o biogás é o seu uso em geradores para a produção de energia elétrica, embora seja possível também, o uso direto para queima. Para que o biogás possa ser utilizado como combustível em carros, tratores e caminhões recomenda-se que ele seja purificado com objetivo de remover o dióxido de carbono para poder ser comprimido à alta pressão. O Quadro 1 mostra a equivalência energética de 1 m^3 de biogás (DEGANUTTI et al., 2002).

Quadro 1. Equivalência energética do biogás.

	Unidades
Gasolina	0,61 L
Querosene	0,57 L
Óleo diesel	0,55 L
Gás liquefeito	0,45 kg
Álcool combustível	0,79 L
Lenha	1,538 kg
Energia elétrica	1,428 kw/h

Fonte: Deganutti et al., 2002.

Rubrica: Fl.: 102 Proc.: 198 -GUANDU/15

Cada propriedade de produção animal possui diferentes produções de dejetos e, consequentemente, diferentes quantidades e qualidades de biogás gerado. O Quadro 2 mostra a produção média diária de dejetos produzidos por diferentes animais e a produção de biogás (BARRERA, 1993).

Quadro 2. Produção média diária de dejetos produzidos por diferentes animais e as respectivas produções de biogás.

Dejetos	Produção diária (kg/animal)	Produção de biogás (m^3 por ton)
Bovino	15	270
Suíno	2,25	560
Equinos	10	260
Ovinos	2,80	250
Aves	0,18	285

Fonte: BARRERA, 1993.

De acordo com Deganutti et al. (2002), para uma família de cinco pessoas, em termos de uso caseiro, é necessário cerca de 8,93m^3 de biogás por dia. Essa quantidade de gás corresponde a ¼ de um bujão de gás de 13 kg e pode ser obtida com a produção de esterco de 20 à 24 bovinos.

No mercado de bolsa de créditos de carbono, uma tonelada de metano reduzido equivale à 21 créditos de carbono. Na conversão, utiliza-se como base a produção de metano. Para cada tonelada de dióxido de carbono são necessárias 64,9 m^3 de metano. Convertendo em toneladas de dióxido de carbono, no caso de 150 animais, tem-se 87 toneladas. Se forem comercializadas a 12,98 euros cada, totalizam-se 1.129,00 euros totais. Considerando a cotação de R$ 2,49 por euro, têm-se R$ 2.784,00 de ganho anual, evidenciando assim ganhos positivos na geração de créditos de carbono (HAACK, 2009).

O Plano ABC estabelece alguns compromissos que se referem à expansão da adoção ou uso de tecnologias que podem ser utilizadas para mitigar emissões de GEE e promover a retenção de CO_2 na biomassa e no solo. Tratando-se de números, o Plano ABC se compromete a tratar 4,4 milhões de m^3 de dejetos animais, com objetivo de gerar energia e produzir composto orgânico.

3.5 Biofertilizante

Em 2004, foi aprovado o Decreto nº 4954 de 14/01 que regulamenta a Lei nº 6894, de 16/12/80 (BRASIL, 2004). Este decreto define os fertilizantes orgânicos como: "produtos de natureza fundamentalmente orgânica, obtidos por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais". O Ministério da Agricultura, de acordo com o Decreto nº 86 955 de 18 de fevereiro de 1982, define o biofertilizante como: "produto que contém princípio ativo ou agente capaz de atuar direta ou indiretamente sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando sua produtividade" (SOUZA et al.,1995). Segundo a Embrapa (2006), o biofertilizante é um resíduo do biodigestor, obtido a partir da fermentação de materiais orgânicos de diferentes tipos e origens. Além de ser importante fonte de macro e micronutrientes, contêm substâncias com potencial de atuar como defensivos naturais quando regularmente aplicados via foliar.

Os resíduos da biodigestão em geral apresentam alto teor de nitrogênio (N), fosfato, potássio e demais nutrientes em consequência da perda de carbono (C) (ARRUDA et al., 2002). Além disso, apresenta baixa relação C/N, o que confere características que possibilita seu uso como biofertilizante. Além disso, o biofertilizante se encontra em grau avançado de decomposição, o que aumenta a sua eficiência e solubilização parcial de alguns nutrientes (ARRUDA et al., 2002).

O emprego de fertilizantes orgânicos tem papel fundamental no aumento de produção, visto que, podem melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, além de promover um desenvolvimento vegetativo adequado à obtenção de produtividade economicamente viável produtores rurais (SILVA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2001; ARAÚJO et al., 2007). Araújo et al. (2007a), ao estudarem o rendimento do pimentão adubado com esterco bovino na presença e ausência do biofertilizante bovino, observaram que o biofertilizante bovino, aplicado de forma isolada ou associado com matéria orgânica, pode ser utilizado como alternativa para fertilização não-convencional no pimentão. Verificou-se também que, a aplicação de biofertilizante bovino, via foliar, atendeu às exigências nutricionais do pimentão.

Campos et al. (2011) analisando o efeito do biofertilizante bovino líquido na biometria e produção de matéria seca das mudas de maracujazeiro amarelo observaram que o aumento das doses de biofertilizante estimulou o crescimento inicial e a produção de matéria seca do maracujazeiro amarelo.

Fl.: 123 Proc.: 198-GUANDU/15
Rubrica:

Silva et al. (2012b) ao avaliarem o rendimento do inhame em função de doses de esterco bovino na presença e ausência do biofertilizante observaram que o biofertilizante aplicado na folha e no solo proporcionou ganhos adicionais de 15,4 e 10%, respectivamente, na produtividade de túberas comerciais, em relação ao esterco bovino.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Construção dos protótipos de biodigestores

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), campus Seropédica, cujas coordenadas geográficas são: 22° 45' 33" S e 43° 41' 51". O clima da região é classificado como Aw segundo a classificação de Köppen, com chuvas concentradas no período novembro a março, precipitação anual média de 1213 mm e temperatura média anual de 24,5 °C (CARVALHO et al., 2006). O sistema de biodigestão anaeróbico foi instalado no Laboratório de Eletrificação Rural e Energias Alternativas, no Instituto de Tecnologia – Departamento de Engenharia da UFRRJ.

Para a realização do experimento foram construídos oito protótipos de biodigestores de bancada, sendo o sistema de abastecimento descontínuo, ou seja, em batelada. Os biodigestores eram constituídos de câmara de fermentação ou biodigestão, campânula ou gasômetro e um manômetro de coluna d'água (Figura 5).

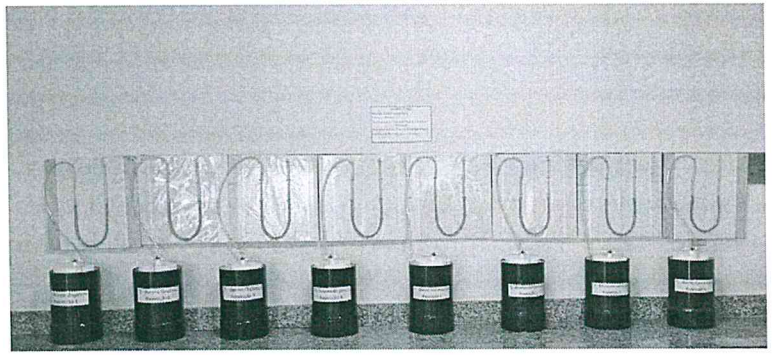


Figura 5. Detalhe dos protótipos dos biodigestores construídos para o experimento.

Fl.: 104 Proc.: 199 - GUANDU/15
Rubrica:

Os protótipos de biodigestores, modelo indiano, são constituídos basicamente por dois cilindros retos de policloreto de polivinila (PVC) com mesmo comprimento (0,30 m) e diâmetro diferentes (100 e 150 mm) inseridos em um recipiente, também formado de PVC e mesma altura, porém com o diâmetro de 0,20 m, funcionando como espécie de "balde" (Figura 5).

A câmara de fermentação (Figura 6) foi utilizada para acondicionar o substrato e o gasômetro para armazenar o biogás gerado. O recipiente de diâmetro maior (0,20 m) foi preenchido com água a fim de formar um "selo d'água".

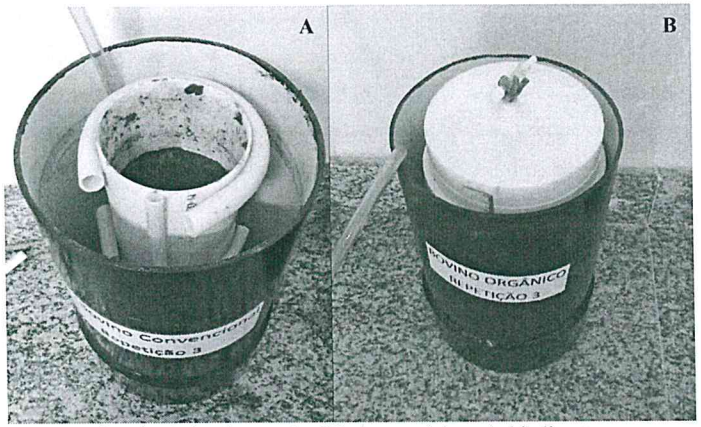


Figura 6. Detalhe do interior (A) e do exterior (B) dos protótipos de biodigestores.

A câmara de biodigestão foi construída por um tubo fechado (0,30 m de comprimento) por conexão CAP, ambos em PVC com diâmetro de 0,10 m, e capacidade de 0,002355 m³, ou seja, de 2,355 L. Uma mangueira de silicone foi acoplada a este tubo e conectado ao manômetro de coluna d'água. Antes de começar a produção de biogás, o nível de água em ambos os lados do manômetro permaneceu o mesmo, ou seja, a diferença de pressão inicial em cada sistema foi nula.

O gasômetro foi montado com tubo e conexão CAP em PVC com diâmetro de 0,15 m. No CAP foi conectado, por meio de um septo de borracha, uma mangueira de silicone com válvula de três vias para a coleta do biogás produzido.

O manômetro foi construído com papel milimetrado colado em uma tábua de 30 x 30 cm e uma mangueira de 10 mm de espessura e aproximadamente 1,20 m de comprimento. Os biodigestores foram dispostos sobre uma bancada, em condições de temperatura ambiente, abrigados da luz solar e chuvas. A câmara de biodigestão manteve-se inserida no interior do gasômetro, de tal forma que o espaço existente entre a parede externa do cilindro interior e a parede interna do cilindro exterior comporte um volume de água ("selo hidráulico") com profundidade de 30 cm.

O sistema, câmara de biodigestão e gasômetro, foram inseridos no interior de um recipiente preenchido com água, para servir de suporte para o gasômetro flutuar, proporcionar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido. Assim, para o funcionamento do gasômetro foi adotado o sistema flutuante. Por este sistema, à medida que ocorria a produção de biogás, havia um deslocamento na direção vertical do gasômetro. Esse deslocamento foi medido por uma régua graduada, de 0 a 30 cm, que se encontrava fixa ao gasômetro. Os valores de deslocamento foram utilizados posteriormente no cálculo do volume de biogás produzido. O volume total da câmara de biodigestão era de 2,35 L.

4.2 Tratamento experimental

Esses protótipos de biodigestores foram abastecidos, uma única vez, com os tratamentos avaliados, a saber: dejetos de bovinos sob sistema orgânico de produção (DBSO) e dejetos de bovinos sob sistema convencional de produção (DBSC). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições por tratamento. A seguir, é feita a descrição dos diferentes manejos de produção leiteira.

a) Sistema de produção de leite na Fazendinha Agroecológica do km 47

A Fazendinha Agroecológica do km 47 (Figura 7) está localizada no município de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro. A Fazendinha é sede de vários trabalhos de pesquisa, sendo coordenada pelas seguintes instituições: Embrapa Agrobiologia, Embrapa Solos, Universidade Rural do Rio de Janeiro e PESAGRO-RIO. Visa a prática exclusiva da agroecologia em três pilares, a pesquisa, o ensino e a extensão; como também à produção e distribuição de sementes, mudas e alimentos orgânicos. O rebanho bovino da Fazendinha Agroecológica do km 47 conta com o número de 50 cabeças da raça Girolando Leiteiro. Esses animais são alimentados à base de pasto de *Brachiaria*, manejado organicamente, sem a adubação mineral e, durante a seca, recebem no cocho quando há disponibilidade, capim, cana e leguminosa, também oriunda da produção orgânica. A limpeza das instalações é realizada somente com água, e a retirada do esterco do curral é feito por raspagem.

O sistema de produção de leite orgânico na Fazendinha Agroecológica do km 47 se caracteriza por um manejo racional que assegure o bem-estar dos animais e gere ganhos diretos e indiretos na produtividade e na qualidade do produto final. Esse sistema visa a redução do estresse psicológico do animal (maus tratos, isolamento, pressa na condução dos animais), utilização de boas práticas na ordenha (uso de linhas de ordenha), manejo mãe-cria

Fl.: 122 Proc.: 158 -GUANDU/95
Rubrica:

diferenciado, além da terapêutica homeopática (técnica que utilizada medicamentos que não eliminam resíduos no leite e derivados) (FLORIÃO, 2013).

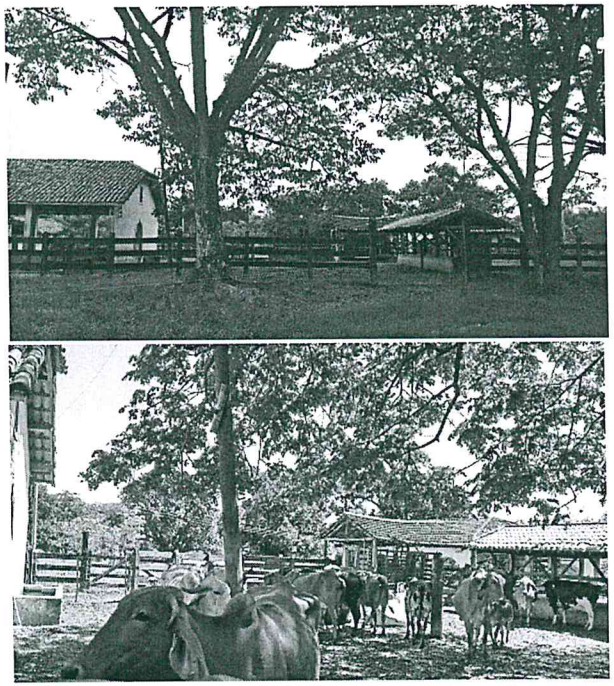


Figura 7. Fazendinha Agroecológica do Km 47.

b) Sistema de produção de leite convencional na PESAGRO-RJ

Os dejetos de bovino de leite sob sistema de produção convencional foram provenientes do setor de bovinocultura leiteira da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro – PESAGRO-RJ (Figura 8), também localizada no município de Seropédica (RJ).

O rebanho da propriedade conta com o número de 180 cabeças da raça Girolando. Esses animais são alimentados em sistema à base de pasto de *Brachiaria,* mas também consomem ração comercial com 20% de proteína bruta, além de farelo de algodão, milho, soja e complementação com macronutrientes e micronutrientes. Os bezerros são alimentados com ração a base de milho, soja e sal mineral. A limpeza das instalações e do equipamento de

ordenha é realizada com detergente alcalino e ácido e sabão e a retirada do esterco do curral é feito por raspagem.

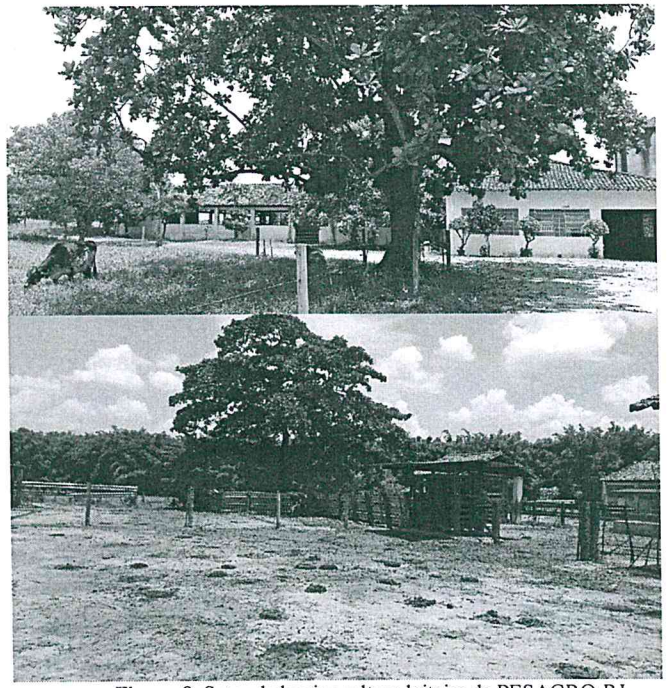


Figura 8. Setor de bovinocultura leiteira da PESAGRO-RJ

Imediatamente após a coleta dos dejetos de bovino (Figura 9), provenientes dos diferentes sistemas de produção, foram realizadas análises química e física, de acordo com a Legislação do CONAMA 375/06.

Fl.: 106 Proc.: 198 -GUANDU/15
Rubrica:

Figura 9. Detalhe da coleta de esterco de bovino no sistema orgânico de produção

4.3 Preparo dos substratos para o abastecimento dos biodigestores

Após a coleta, para a preparação do substrato, inicialmente foi realizada a análise de determinação de sólidos totais, com base na metodologia descrita pela APHA (2005), conforme recomendado pela Legislação do CONAMA 357/06. Dessa forma, pesou-se aproximadamente 30 g de dejetos de bovinos, em cadinhos, para a determinação do peso úmido (PU). Em seguida, os cadinhos foram levados para a estufa à 105°C, até atingirem peso constante, de forma a determinar o peso seco (PS). Foram realizadas seis repetições, em cada dejeto de bovino (sob o sistema orgânico e convencional). O teor de sólidos totais foi quantificado por meio da Equação 1:

$$U = \frac{PU - PS}{PU} \times 100 \qquad (1)$$

$$ST = 100 - U$$

Em que:

U = teor de umidade, em %;

ST = teor de sólidos totais, em %;

PU = peso úmido da amostra, em g; e

PS = peso seco da amostra, em g.

A partir dos resultados observados na análise de sólidos totais, determinou-se a quantidade de água a ser adicionada à matéria-prima, a fim de se obter uma concentração de 8% de sólidos totais em todos os oito biodigestores.

4.4 Análises de produção do biogás

4.4.1. Volume do biogás

O volume de biogás produzido diariamente foi determinado pelo produto do deslocamento vertical do gasômetro e sua área da seção transversal interna de 0,02 m². A produção do biogás fazia com que o tubo mais estreito se enchesse de gás e subisse, permitindo a medição da produção diária de biogás por meio de escalas graduadas afixadas nos tubos mais estreitos.

A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20 °C foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985), no qual, pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresenta comportamento próximo ao ideal. Conforme descrito por SANTOS (1997), para a correção do volume de biogás foi utilizada a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac (Equação 2), onde:

$$\frac{V_0 \times P_0}{T_0} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1} \qquad (2)$$

Em que:

V_0 = volume de biogás corrigido, m³;

P_0 = pressão corrigida do biogás, 10.322,72 mm de H_2O;

T_0 = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

V_1 = volume do gás no gasômetro, m³;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, mm de H_2O; e

T_1 = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Em cada leitura, foi medida a pressão (mm H_2O) do biogás por meio da utilização de um manômetro de coluna d'água acoplado ao biodigestor e a temperatura ambiente, que foi medida em graus Celsius (°C), com o uso de um termômetro acoplado a um termopar.

Após cada leitura, foi medido o Índice de Explosividade (% LEL) do biogás gerado por meio de Detector de 4 gases (Figura 10).

Rubrica:

O tempo de biodigestão anaeróbica foi de 210 dias, com início no mês de maio de 2015 e término no mês de novembro de 2015. Os registros dos comportamentos da produção de biogás de cada tratamento (DBSO e DBSC) foram medidos diariamente, às 10 da manhã, até o quinto mês de experimento (150 dias), passando a ser medido por dias intermitentes após esse período.

4.4.2 Potencial de produção de biogás

Para o cálculo do potencial de produção de biogás foram utilizados os dados de produção semanal e as quantidades de substrato, de sólidos totais e de sólidos voláteis adicionados nos biodigestores. Os valores foram expressos em m^3 de biogás por kg de substrato, de sólidos totais e de sólidos voláteis.

4.4.3 Determinação do índice de explosividade do biogás

Após cada leitura de deslocamento da campânula, media-se o Índice de Explosividade (% LEL) do biogás gerado, por meio de um Detector digital portátil de quatro gases (CH_4, H_2S, CO e O_2) (Figura 10), modelo DG-500 da marca InstruTherm. O contato entre o biogás e o aparelho foi feito por uma mangueira de borracha, conectada na válvula de saída na campânula.

Figura 10. Detector digital para a quantificação da concentração dos gases do biogás gerado.

A concentração na qual o gás tem potencial para explodir é definido como limites de explosividade inferior (LEL – Lower Explosive Limit) e superior (UEL – Upper Explosive Limit). Para concentrações abaixo do LEL e acima do UEL, o gás é considerado não explosivo. O gás metano é explosivo entre o LEL de 5% em volume e UEL de 15% em volume (BRITO FILHO, 2005).

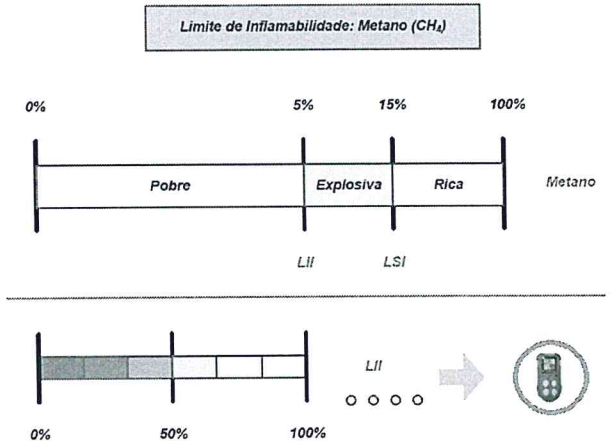


Figura 11. Limite de inflamabilidade do gás metano.
Fonte: Fernandes (2013) adaptado de Yorgos (2012).

Por último foi realizado o teste de queima, realizada na terceira semana, no qual consiste na verificação de queima ou não do biogás proveniente dos biodigestores em batelada para detecção de presença ou não de metano em quantidade suficiente para manter uma chama. Após a detecção da mesma, este teste não foi mais necessário, sendo efetuado, portanto, apenas no início do processo. No final da coleta de dados diários de produção de biogás, o gasômetro foi esvaziado utilizando-se o registro de descarga do biogás.

4.5 Caracterização do biofertilizante

As análises para caracterização do biofertilizante foram realizadas no Laboratório de Ciclagem de Nutrientes, do Instituto de Agronomia – Departamento de Solos da UFRRJ e no Laboratório de Análise de Solo e Planta (LASP) da Embrapa - Solos.

Fl.: 108 Proc.: 198 -GUANDU/15
Rubrica:

A caracterização do material de entrada e saída do biodigestor (afluente e efluente) foi realizada segundo a resolução CONAMA 375/06, quanto ao pH, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos voláteis, umidade concentrações de macro e micronutrientes, metais pesados. Foram realizadas análises biológicas, de qualidade sanitária (coliformes fecais), somente no efluente.

Para a determinação dos teores de sólidos totais, as amostras foram levadas à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 105 °C até atingirem peso constante. Para a determinação dos sólidos voláteis, as amostras já secas em estufa, resultantes da determinação de umidade, foram levadas à mufla, onde foram submetidas à temperatura de 575°C por um período de 2 h.

As medidas de condutividade elétrica foram realizadas através da leitura direta em condutivímetro de bancada digital Tecnopon, utilizando as soluções padrão 146,9 µS/cm, para a calibração do equipamento. As medidas de pH foram realizadas através de leitura direta em pHmetro de bancada digital Tecnopon, utilizando as soluções tampão pH 4,0 e pH 7,0, para a calibração do equipamento.

Para a caracterização química do afluente e efluente foi realizado o preparo do material. Inicialmente, realizou-se o preparo por meio da secagem em estufa à 60°C, durante uma semana. Após a secagem, o material orgânico foi macerado e peneirado em peneira, com abertura de 100 mesh, para realizar as análises químicas.

Para a determinação dos teores totais de metais, 1g das amostras finamente moídas foram digeridas, por via úmida em sistema fechado, em um Digestor MARS Xpress® (Figura 12), segundo o método SW-846 3051A (USEPA, 2007), conforme recomenda a Legislação do CONAMA 375/06. Utilizou-se 10 ml de HNO_3 (VETEC 65%), em tubo de teflon até atingir a temperatura de 130 °C. Após o resfriamento, os extratos foram filtrados e diluídos até o volume de 50 ml com água milliQ. Os brancos tiveram o mesmo tratamento. As concentrações dos macros e micronutrientes nos extratos foram determinadas por Espectrometria de Absorção Atômica (equipamento de marca Agilent Technologies, modelo Variam SpectrAA 55B) e armazenados em tubos tipo Falcon de polietileno. A digestão de todas as amostras foi realizada em triplicata, em cada repetição.

Figura 12. Digestor MARS Xpress

A determinação do teor de matéria orgânica foi feita por gravimetria, segundo a metodologia de Kampf e Shneider (1989). Pesou-se aproximadamente 1 g da amostra do efluente finamente moída e acondicionou em cadinho de porcelana que, posteriormente foi levado à mufla a uma temperatura de 600° C, durante 6 horas. O teor de carbono orgânico foi obtido através da utilização do fator de Van Bemmelen (f = 1,724).

Por fim, realizaram-se análises biológicas de Coliformes Termotolerantes (Figura 13), para caracterização quanto à presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos. Os coliformes termotolerantes foram quantificados pela Técnica do Número Mais Provável (NMP) em tubos múltiplos conforme a Norma Técnica L5-406 (CETESB, 1992), recomendada pelo CONAMA 375/06

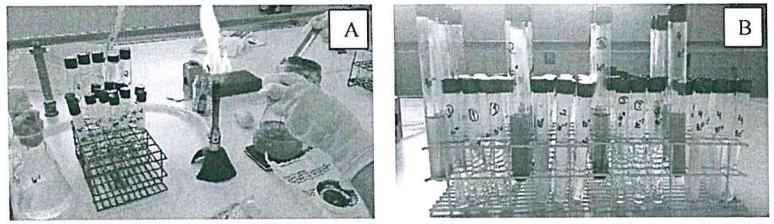


Figura 13. Detalhe da preparação (A) e da análise biológica (Coliforme Termotolerante) no biofertilizante (B).

4.6 Análise estatística

Os procedimentos estatísticos foram realizados com o auxílio do programa estatístico "R- Project" versão 3.2.3 (R Development Core Team, 2014). As análises constaram do teste da normalidade e homocedasticidade. Após a constatação da normalidade e homogeneidade

Fl.: 109 Proc.: 148 -GUANDU/...
Rubrica:

dos dados, foi realizada a análise da variância, aplicando-se o teste t para testar a significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produção de biogás

A produção média semanal de biogás (m^3), a partir de dejetos de bovinos sob sistema orgânico (DBSO) e convencional (DBSC) de produção, durante todo o período de biodigestão anaeróbica (30 semanas) é apresentada na Figura 14.

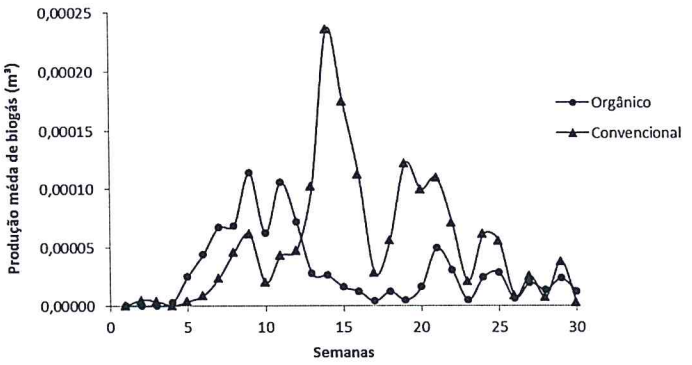


Figura 14. Produção média semanal de biogás (m^3), a partir da biodigestão anaeróbica de dejetos de bovinos de leite, sob sistema orgânico e convencional de produção.

Observa-se que, até a quinta semana, a produção média semanal de biogás dos dejetos de bovinos de leite, sob sistema orgânico e convencional de produção, foi muito similar, não apresentando diferença estatística significativa (P = 0,05). Observa-se ainda durante esse período uma baixa produção média semanal de biogás.

A partir da quinta até a décima segunda semana, o tratamento com DBSO se destacou na produção de biogás, sendo estatisticamente superior aos DBSC. Somente na décima terceira semana, os dejetos da produção convencional se destacaram em relação aos dejetos da produção orgânica. A partir da 13ª semana, os dejetos de bovinos sob sistema convencional foram estatisticamente superiores aos dejetos sob sistema orgânico, exceto no período final da biodigestão anaeróbica (26ª, 27ª, 28ª e 30ª semana) (Figura 14).

Fl.: 110 Proc.: 148 -GUANDU/15
Rubrica:

Observa-se ainda que, o biogás de DBSC apresentou pico de produção de 0,00023 m³, sendo esse valor o dobro do pico do biogás (0,00011 m³) produzidos pelos DBSO. O principal pico de produção de biogás dos dejetos de bovino sob sistema orgânico de produção ocorreu na 9ª semana, após 56 dias de biodigestão, enquanto que, nos dejetos de bovino sob sistema convencional, ocorreu somente após 14 semanas de biodigestão anaeróbica (98 dias). A maior produção de biogás em tempos de retenção reduzidos, como demonstra o pico de produção de biogás adiantado do DBSO em relação ao DBSC, pode estar atribuída às maiores cargas orgânicas presentes (maiores potenciais de produção de gás) naquele material afluente. Sendo assim, a qualidade dos DBSO favoreceu nas primeiras semanas (9ª semana), uma mais rápida decomposição dos compostos orgânicos mais complexos em compostos mais simples (compostos orgânicos voláteis) em relação aos DBSC que só se expressou mais tardiamente, na 14ª semana. A qualidade dos dejetos animais está diretamente relacionada ao manejo adotado e, principalmente a dieta animal (Amorim, 2002; referencias.). A dieta adotada na produção de leite sob manejo orgânico é diferente da dieta sob manejo convencional. O manejo orgânico oferece basicamente pasto de *Brachiaria* e leguminosas na época seca. A dieta no manejo convencional é mais rica, oferecendo ao animal alimentos como pasto de *Brachiaria,* ração comercial, além de farelo de algodão, milho, soja e complementação com macronutrientes e micronutrientes.

Num estudo realizado por Amorim (2002), que avaliou o efeito de três diferentes dietas para caprinos (Dieta 1- 80% volumoso, 20% concentrado, Dieta 2- 60% volumoso e 40% concentrado e Dieta 3- 40% volumoso e 60% concentrado) sobre a produção de biogás. Os resultados evidenciaram que a dieta oferecida ao animal alterou a produção de biogás. O autor associou esse fato à produção de fezes com maior concentração de nutrientes (representado por formas de carbono mais assimiláveis pelos microrganismos), em animais alimentados com dieta 3, mais rica em concentrado. A dieta 3, apesar de produção mais tardia de biogás, se comparado com a dieta 2, produziu uma quantidade maior de biogás (0,07235 m³). Esses resultados corroboram com o presente estudo, em que o DBSC produziu biogás mais tardiamente, embora com uma produção acumulada maior do que o DBSO (Figura 14). Destaca-se novamente, a relação da dieta diferenciada de cada tratamento na produção de gás, em que os animais no tratamento DBSC, que recebem alimentação à base de volumoso e de concentrado apresentaram uma produção acumulada maior que os DBSO.

Verifica-se que houve um decaimento na produção de biogás do dejeto convencional após 21 semanas (84 dias) do início do abastecimento dos biodigestores (Figura 14). Por outro

lado, o DBSO apresentou decaimento na metade do tempo do DBSC, a partir da 11ª semana (44 dias), com menores picos posteriormente (21ª semana). É importante destacar que, a partir dessa semana (21ª semana), o comportamento da biodigestão anaeróbica na produção do biogás foi muito semelhante entre os tratamentos avaliados. A partir dessas informações infere-se que, o DBSO apresenta decaimento de produção adiantado, demonstrando que o TRH para este tratamento seria menor, e, consequentemente, o volume do biodigestor também seria menor, reduzindo os custos de construção do mesmo.

5.1.1 Produção acumulada de biogás

Os registros dos comportamentos da produção de biogás de cada tratamento (DBSO e DBSC) foram medidos diariamente, até o quinto mês de experimento (150 dias), passando a ser medido por dias intermitentes após esse período até completar os 7 meses de biodigestão. Durante os 210 dias de experimento foi observada uma produção acumulada de 6,18 L de biogás a partir da biodigestão dos dejetos de bovinos sob sistema orgânico e de 11,15 L de biogás para os dejetos de bovinos sob sistema convencional (Figura 15).

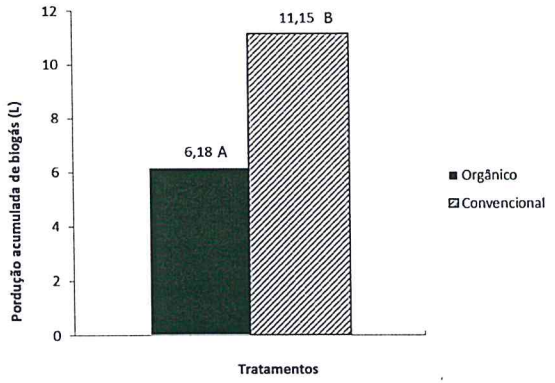


Figura 15. Produção acumulada de biogás (L) durante todo o período de biodigestão anaeróbica (210 dias). Valores seguidos de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t (P=0,05).

Fl.: 111 Proc.: 198 -GUANDU/15
Rubrica:

Os tratamentos apresentaram diferença estatística entre si, com maior produção acumulada (L) de biogás no DBSC. Esse resultado pode ser justificado pelo manejo diferenciado dos animais, principalmente a dieta, em cada tratamento. Em experimento realizado por Orrico Junior (2011) foi observado que, a maior degradação dos dejetos provenientes da dieta com maior proporção de concentrado refletiu diretamente sobre a produção e os potenciais de produção de biogás e metano. À medida que aumentou-se a proporção de concentrado na dieta, maiores foram as produções de biogás.

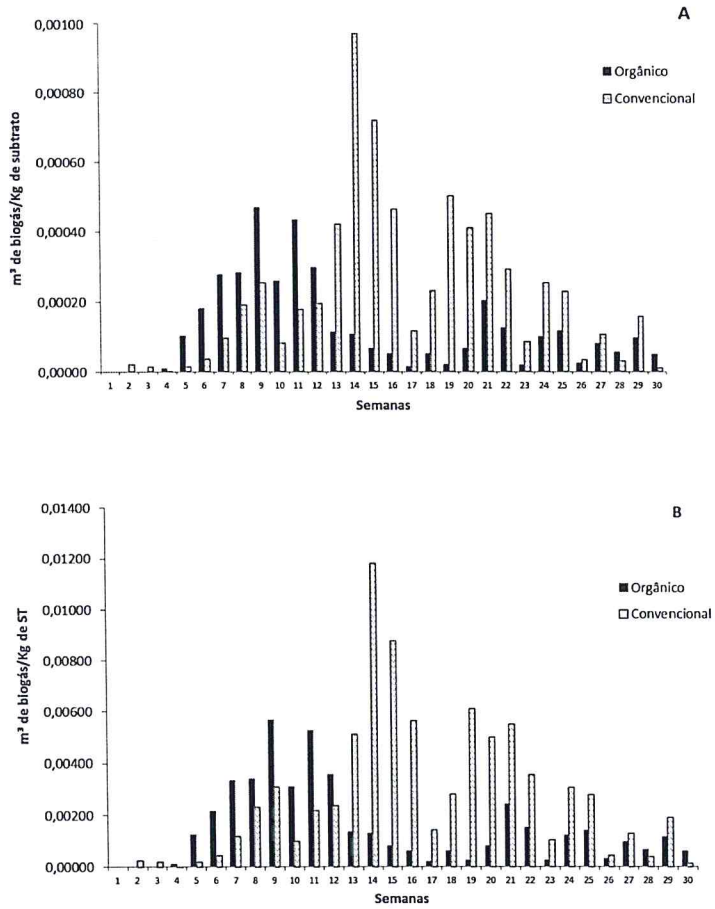
Segundo as informações da PESAGRO-RJ, as vacas da raça Girolando sob manejo convencional de produção de leite são alimentadas à pasto de braquiária e Tanzânia, sendo que, as em lactação fazem uso de ração comercial com 20% de proteína bruta e farelo de algodão, milho e soja. A característica desse tipo de dieta pode contribuir para uma maior degradação dos dejetos e consequentemente maior produção de biogás. Os animais no sistema orgânico não recebem nenhum tipo de concentrado em suas dietas. Este fato justifica as menores produções de biogás deste tratamento, corroborando com estudo de Orrico Junior (2011).

Soethe (2014) avaliando o potencial de produção de biogás por meio da co-digestão anaeróbia (biodigestão envolvendo dois ou mais substratos) utilizando-se a massa visceral da tilápia em combinação com dejetos suínos observou que, para a proporção que possuía 25% de vísceras de tilápia, obteve-se a produção acumulada de 0,9390 L, em 63 dias de experimento, valor inferior ao observado neste trabalho.

Inoue (2008) observou valores inferiores ao deste trabalhando analisando a produção acumulada de biogás em três diferentes concentrações de combinação de manipueira e casca de mandioca. A autora obteve como resultado uma produção acumulada de 1,32 L (três partes de manipueira e uma de casca), enquanto os demais tratamentos apresentaram produção de 0,80 L (duas partes de manipueira e uma de casca) e 1,22 L (uma parte de manipueira e uma de casca.

5.1.2 Potencial de produção de biogás

A Figura 16 apresenta os resultados referentes ao potencial de produção de biogás em m³ de biogás/kg de substrato, m³ de biogás/kg de ST e, m³ de biogás/kg de SV. Analisando os resultados referentes à produção de biogás por kg de substrato, kg de ST e kg de SV observou-se que, os tratamentos apresentaram diferença estatística entre si, entre a 6ª e 11ª semana, 13ª e 19ª semana, 21ª e 25ª semana e na 30ª semana.



Fl.: 117 Proc.: 198 -GUANDU/15
Rubrica:

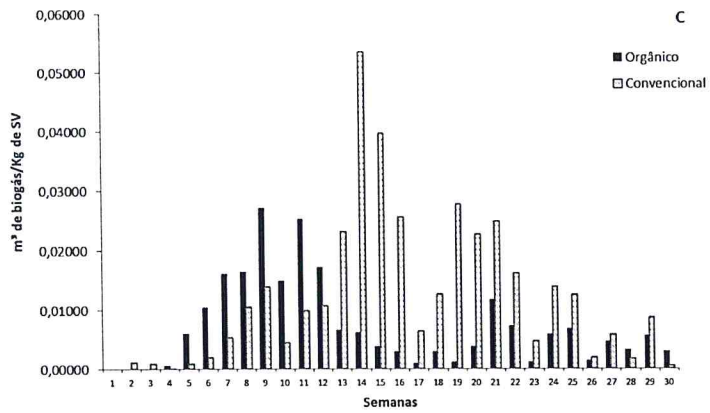


Figura 16. Potencial de produção de biogás em: a) m³/kg de substrato, b) m³ de biogás/kg de ST e c) m³ de biogás/kg de SV.

Considerando todos os potencias de produção (m³/kg de substrato, m³/kg de ST e m3/kg de SV) nas diferentes semanas, somente na 30ª semana não foi observada diferença estatística entre os tratamentos, para produção de biogás por kg de SV. Esses resultados têm relação com a Figura 14, visto que a maior produção de biogás ocorreu nas semanas de maior potencial de produção.

Tabela 2. Potencial acumulado de produção de biogás (por kg de substrato, de ST e de SV adicionado)

Tratamentos	Potencial acumulado de produção de biogás		
	Substrato (m³ de biogás/kg substrato)	Sólidos Totais (m³ de biogás/kg ST)	Sólidos Voláteis (m³ de biogás/kg SV)
DBSO	0,0040 B	0,0484 B	0,2331 B
DBSC	0,0063 A	0,0758 A	0,3648 A

*Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t (P=0,05).

Os DBSC apresentaram maior potencial energético, expressos em produção de biogás (por kg de substrato, de ST, de SV), em relação aos DBSO (Tabela 2). Isso explica as maiores

produções de biogás nos dejetos oriundos do sistema convencional em relação aos dejetos do sistema orgânico e consequentemente, uma maior redução dos sólidos totais e voláteis nesse tratamento (Tabela 5).

Tabela 3. Potencial de produção de biogás (por L de substrato, de ST e de SV adicionado)

Tratamentos	Potencial de produção de biogás		
	Substrato (L de biogás/kg substrato)	Sólidos Totais (L de biogás/kg ST)	Sólidos Voláteis (L de biogás/kg SV)
DBSO	0,12	1,40	7,04
DBSC	0,21	2,53	12,71

*Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t (P=0,05).

O DBSC apresentou um potencial de produção (L/kg substrato) de 0,21 L/kg de substrato e o DBSO um potencial de produção de 0,12 L/kg de substrato, considerando as trinta semanas de avaliação (Tabela 3). Silva et al. (2013) avaliaram a biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco de ovino, caprino, manipueira e adição de 25% de biofertilizante proveniente do mesmo substrato. Os autores verificaram que, no decorrer de 17 semanas (período de 120 dias), foi observada uma produção média de biogás de 5,36 L/kg de substrato biodigerido. Esse trabalho enfatiza a importância do material (qualidade do substrato) para a produção de biogás.

Observou-se valor de potencial de produção de 0,0002 m³ de biogás/kg de substrato para dejeto convencional, e 0,0001 m³ de biogás/kg de substrato para dejeto orgânico, considerando as trinta semanas de biodigestão (Tabela 5). STEIL (2001) obteve resultados superiores (0,0246 m³ de biogás por kg de substrato), quando efetuou a biodigestão da cama de frangos utilizando 10% de inóculo. Ao utilizarem os dejetos de cabras Saanen adultas como substratos para a biodigestão anaeróbia nas quatro estações do ano, Amorim et al. (2004) verificaram uma produção média de 0,02 m³ de biogás/kg de substrato. Quadros et al. (2010) em trabalho sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos, em biodigestor modelo Canadense, de alimentação contínua, atingiram uma produção média de biogás de 0,003 m³/kg de substrato. Xavier e Lucas Jr. (2010) observaram a produção de biogás de 0,07 m³ por kg de substrato com o tempo de retenção hidráulica de 45 dias.

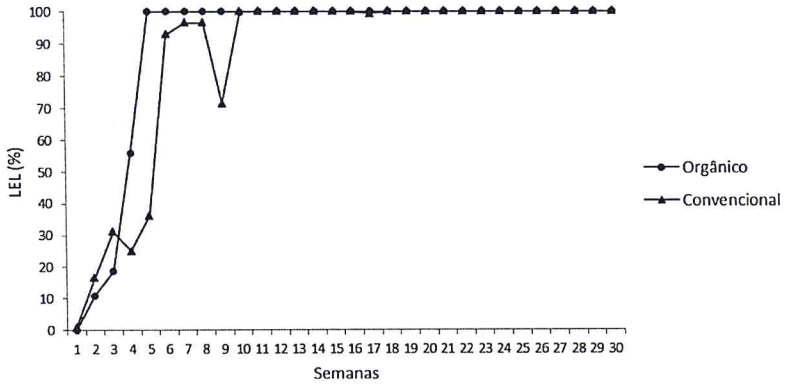
Fl.: 113 Proc.: 198 -GUANDU/15
Rubrica:

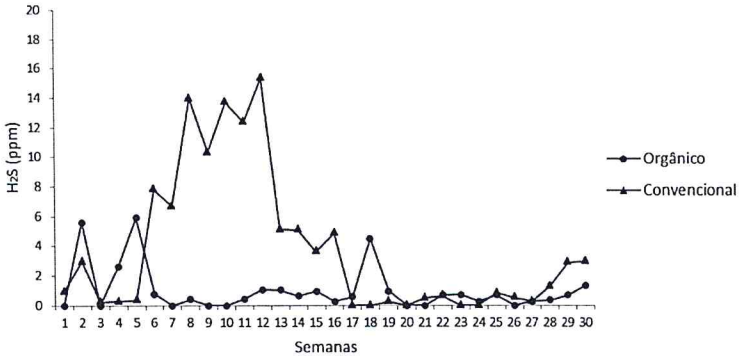
Essas diferenças observadas na literatura quando relacionadas ao presente trabalho podem ser justificadas pelo modelo do biodigestor utilizado, a forma de alimentação do mesmo (contínuo ou batelada), os diferentes tempos de retenção hidráulica e às características relacionadas aos substratos a serem biodigeridos.

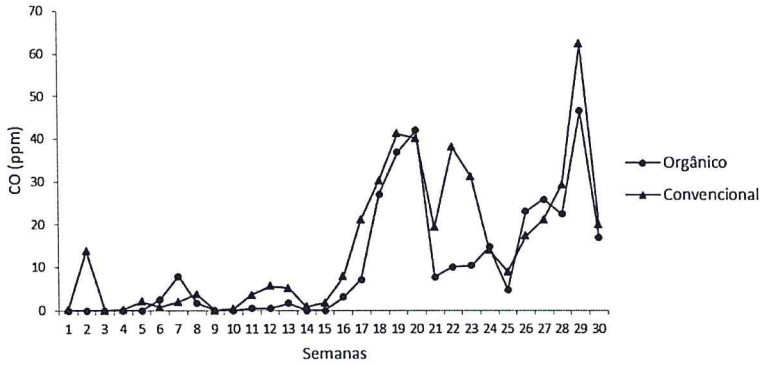
Orrico et al. (2007) avaliando os dejetos gerados por cabras Saanen, após processo de biodigestão, em quatro categorias de idade e alimentadas com três dietas (D1: 80% volumoso (Vol) e 20% concentrado (Con)); (D2: 60% Vol e 40% Con) e (D3: 40% Vol e 20% Con) observou para as dietas 1, 2 e 3 potenciais de produção de 0,2434, 0,2610 e 0,2680 m³/kg de SV, respectivamente. Esses resultados se encontram superiores aos observado neste trabalho para as médias do potencial de produção de DBSO (0,0070 m³/kg de SV) e DBSC (0,0121 m³/kg de SV).

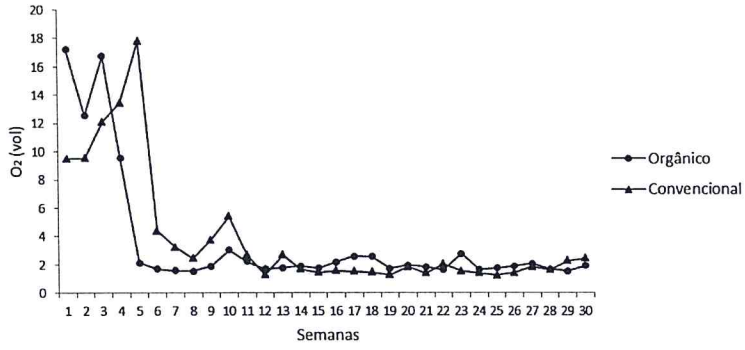
5.1.3 Explosividade do biogás

Após cada leitura dos deslocamentos nos biodigestores para a avaliação da produção de biogás, utilizou-se o Detector digital portátil de quatro gases com objetivo de medir o Limite Superior de Explosividade (% LEL), com calibração para o gás metano (CH_4) e as concentrações de sulfato de hidrogênio (H_2S, em ppm), monóxido de carbono (CO, ppm) e oxigênio (vol O_2) do biogás (Figura 17).









Fl.: 114 Proc.: 198-GUANDU/15
Rubrica:

Figura 17. Caracterização semanal do biogás produzido durante as 30 semanas de biodigestão.

Em geral, o controle de explosividade de um local é feito em termos de porcentagem de LEL, visto que este indica a probabilidade do início de chames (SANCHES, 2009). Trazendo essa realidade para os protótipos dos biodigestores, infere-se que, para os tratamentos estudados, o biogás produzido é apto a começar a explodir na presença de uma fonte de ignição.

Sendo assim, o biogás produzido ao longo de 30 semanas de biodigestão anaeróbica no tratamento DBSO apresentou LEL médio de 90%. Já para o tratamento DBSC observou-se LEL médio de 85,5%.Quando o explosímetro apresentar 100% de LEL, significa que, naquele momento, há 5% de metano existente na mistura do biogás (SILVA et al., 2010). De acordo com os resultados, DBSO apresentou um LEL de 100% logo nos primeiros 30 dias, enquanto que o DBSC atingiu um LEL de 100% somente após 80 dias de biodigestão anaeróbica. Isso significa que, na maior parte do processo de biodigestão, foi verificada a presença da mínima quantidade de metano necessária para promover a combustão do biogás. Além dessa análise, foi possível verificar a presença de metano no biogás gerado devido sua queima na presença de uma fonte de ignição (fogo).

Os DBSO atingiram 100% de LEL antes do DBSC e, apesar do DBSC ter produzido maior volume de biogás ao longo de todo o processo de biodigestão (Figuras 17), esse tratamento se mostrou inferior quanto ao limite de explosividade. Isso demonstra que, houve maior produção de biogás, porém de menor qualidade, no que diz respeito a concentração do gás metano, em relação ao DBSO.

A presença de substâncias não combustíveis no biogás prejudica o processo de queima, tornando-o menos eficiente. Dentre esses gases, tem-se o gás sulfídrico (H_2S) que pode ser responsável pela corrosão nos biodigestores, além de ser tóxico, causando danos ao ambiente, visto que durante a combustão é convertido em dióxido de enxofre (SALOMON, 2007). Em alguns casos, quando a concentração de H_2S é elevada, torna-se necessário um sistema de purificação para a retirada de H_2S do biogás, encarecendo dessa forma o sistema. Ao longo das 30 semanas de biodigestão, a concentração média de sulfeto de hidrogênio nos tratamentos DBSO e DBSC foi de 1 e 3,9 ppm, respectivamente. O H_2S apresentou maiores picos na 12ª semana de biodigestão para DBSC e na 5ª semana para a DBSO, momento esse que se inicia a produção de biogás nesses dois tratamentos (Figura 14). Portanto, o DBSO

apresentou menores níveis médios e menores picos, conferindo a esse tratamento melhor característica se tratando desse gás.

A concentração média de CO foi de 10 e 17,1 ppm. No momento em que a concentração de CO é zero observa-se os maiores picos de produção de biogás nos dois tratamentos (Figura 17).

A concentração média de oxigênio no DBSC foi de 3,88% (vol) e no DBSO de 4 % (vol). A elevada concentração de O_2 no início do processo deve ter sido a responsável pela baixa produção de biogás (Figura 17). Quando o O_2 é reduzido de 17 (vol) para 2 (vol), inicia-se a produção de biogás nos DBSO e DBSC (Figura 17). As bactérias da metanogênese trabalham na completa ausência de oxigênio. Os mais baixos índices de concentração de oxigênio já podem reduzir significativamente a ação dessas bactérias. Por isso é de extrema importância um perfeito isolamento dos biodigestores.

5.1.4 Análise de conversão energética

Analisando as características das duas propriedades estudadas, realizou-se a conversão energética com objetivo de demonstrar, em termos práticos, quanto de energia se produz em cada local, de acordo com o número de animais e dejetos produzidos. De acordo com Barrera (1993), a produção média de dejetos (fezes + urina) de bovino leiteiro é de aproximadamente 15 kg/animal/dia. Considerando as 50 cabeças da Fazendinha Agroecológica e as 180 cabeças de gado leiteiro da PESAGRO-RJ tem-se 273.750 e 985.500 kg de dejetos por ano, respectivamente.

Considerando que, os DBSO no biodigestor da Fazendinha Agroecológica tivesse um TRH de 9 semanas e os DBSC no biodigestor da Pesagro-RJ de 14 semanas, poderíamos abastecer os biodigestores da Fazendinha Agroecológica cinco vezes ao ano enquanto que o biodigestor da PESAGRO-RJ somente três vezes ao ano. Cada 1 m^3 de biogás produzido corresponde à 0,45 kg de GLP (gás liquefeito de petróleo) e à 1,428 kw/h de energia (DEGANUTTI et al.,2002). Considerando a produção de biogás nos DBSO e DBSC de 192 e 506 m^3 por ano, observa-se que os DBSO e os DBSC produziriam 274 e 717 kWh de energia por ano, respectivamente.

A quantidade de biogás produzida no ano para DBSO é correspondente a aproximadamente 7 botijões de gás de 13 kg, e 17 botijões de gás (13 kg) para DBSC. A energia e quantidade de gás gerada para o protótipo de biodigestor com capacidade de 2 kg

Fl.: 115 Proc.: 148-GUANDU/15
Rubrica:

poderiam ser utilizadas, por exemplo, para manter o sistema de abastecimento de gás da cozinha das propriedades.

Tabela 4. Análise da conversão energética de biogás.

Parâmetros	Fazendinha do Km 47	PESAGRO-RJ
Número de cabeças de gado leiteiro	50	180
Produção de dejetos (kg)	273.750	985.500
Produção biogás (m^3/kg substrato)	0,00014	0,00017
Produção de biogás (m^3/ano)	192	502
GLP (kg)	86	226
Produção anual (kWh/ano)	274	717

Igualando a quantidade de cabeças de bovino leiteiro para os dois tratamentos (50 cabeças), a produção de energia por ano chegará a 274 kwh para DBSO e 200 kwh para DBSC. Isso corresponde a 74 kwh a mais de energia produzidos na Fazendinha Agroecológica do que na PESAGRO-RJ. Isso é explicado pelo menor TRH dos DBSO em relação ao DBSC. Portanto, apesar do DBSC apresentar maior volume de biogás produzido nos 210 dias de experimento, o DSBO, por apresentar pico de biogás adiantado e consequentemente menor TRH, o biodigestor deste tratamento poderá ser abastecido mais vezes ao ano e a energia produzida será maior.

Para os resultados demonstradas no experimento, vale ressaltar que as condições de montagem de biodigestor em laboratório e em campo se diferem em muitos aspectos, como temperatura, uso de inóculo, TRH, agitação dos dejetos dentro do biodigestor, dentro outros. Esses aspectos podem influenciar diretamente na produção de biogás e, consequentemente, na economia de energia da propriedade.

5.2 Biofertilizante

5.2.1 Redução de sólidos totais e voláteis no processo de biodigestão anaeróbica

A Tabela 5 mostra os resultados de sólidos totais e voláteis (%) antes (afluente) e após (efluente) o processo de biodigestão. O processo de biodigestão favoreceu a redução dos sólidos totais e voláteis em ambos os tratamentos. Apesar de não apresentar diferença estatística, observou-se maior redução de sólidos totais e sólidos voláteis para o DBSC, com valores de 27% e 33%, respectivamente.

Tabela 5. Redução (%) dos sólidos totais (ST) e voláteis (SV) após o processo de biodigestão.

Tratamentos	ST (%)	ST(%)	SV (%)	SV (%)	ST	SV
	A	E	A	E	Redução (%)	
DBSO	8,27 A nd	6,25 Bb	1,65 A nd	1,26 Bb	25	27
DBSC	8,20 A nd	5,96 Bb	1,74 A nd	1,21 Bb	27	33

*A – afluente; **E – efluente ou biofertilizante, nd – não determinado.

Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si na comparação do afluente (A) e efluente (E), pelo teste t (P=0,05).

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si na comparação dos tratamentos, pelo teste t (P=0,05).

Verificou-se uma reduzida eficiência de redução de ST no processo de biodigestão nos tratamentos, o que é condizente com a baixa produtividade do biogás resultante ao final do processo. Como os biodigestores não se encontravam aterrados, variações de temperatura local podem ter influenciado diretamente a temperatura dentro dos biodigestores, e, consequentemente, a redução de sólidos (ST e SV) e a produção de biogás. Mesmo tratando-se de um experimento em laboratório, foi observado variações de temperatura dentro do biodigestor, de 21 até 30°C, durante os 210 dias de experimento. Tal fato pode ter colaborado para diminuição da produção de biogás do sistema, visto que o mesmo não se encontrava próximo da faixa ótima de temperatura da metanogênese, que é de 35°C.

Barros et al. (2009) em avaliação da produção de biogás em um biodigestor modelo indiano utilizando dejetos bovinos, observou uma redução de 80% no percentual de sólidos voláteis.

Fl.: 116 Proc.: 198 -GUANDU/...
Rubrica:

Ao efetuarem a biodigestão anaeróbia dos resíduos de abatedouros das aves utilizando biodigestores laboratoriais com capacidade de 3 litros e, mantidos em temperatura constante (31 °C), Salminen & Rintala (2002) observaram reduções de SV de 63, 31; 74 e 76%. As maiores reduções de SV observadas pelos autores podem ser atribuídas à manutenção dos biodigestores também em temperatura de 31°C (ORRICO JÚNIOR et al., 2010). Porém, Casto e Cortez (1998) concluíram em experimento laboratorial que, a temperatura mais adequada para produção de gás, com um biodigestor rural modelo indiano, é de 31 °C.

5.2.1.1 Caracterização físico-química do material afluente e efluente

Para a recomendação de utilização agronômica do biofertilizante nos solos, como adubo para as culturas, algumas propriedades químicas e físicas do mesmo devem ser observadas. Ainda não existe uma Legislação específica para biofertilizante, sendo utilizada como referência a Legislação do CONAMA 375/06, que trata de Lodo de Esgoto. Nessa Legislação são recomendadas análises das características químicas, físicas e biológicas do material afluente e efluente.

Na tabela 6 são apresentados os valores médios das análises do material de entrada de abastecimento do biodigestor (afluente) e do material de saída (efluente ou biofertilizante) de cada tratamento avaliado. Observa-se que, a biodigestão anaeróbica proporcionou um aumento nos valores de pH e na umidade do material efluente nos DBSO e DBSC. Por outro lado, a biodigestão acarretou numa redução dos valores da CE, para ambos os tratamentos. Para todos os parâmetros analisados, observou-se diferença estatística entre o material de entrada do biodigestor (afluente) e de saída (efluente).

Pode-se afirmar que o pH apresentou-se dentro da faixa favorável aos microrganismos responsáveis pelo processo de digestão anaeróbia. Foi observado uma alcalinização dos materiais efluentes, pois o pH de entrada do material afluente mostrou-se menor que o pH de saída, para os dois tratamentos. Esse comportamento de elevação do pH no processo de biodigestão é geralmente observado na literatura.

Ao comparar o pH do biofertilizante nos diferentes dejetos, observa-se que o pH obtido a partir da biodigestão DBSO apresentou estatisticamente maior valor em relação ao biofertilizante oriundo DBSC. O pH ideal no processo de biodigestão anaeróbica apresenta-se na faixa entre 6,0 e 8,0. A partir dos resultados demonstrados, infere-se que o pH de ambos os tratamentos está dentro da faixa favorável aos microrganismos metanogênicos, responsáveis

pelo processo de digestão anaeróbia, favorecendo assim a estabilidade para o funcionamento do sistema anaeróbico (Tabela 5).

Tabela 6. Valores médios de potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), teores de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) e umidade (U) no material afluente (A) e efluente (E).

Tratamentos	pH		CE (µs cm^{-1})		U (%)	
	A*	E**	A	E	A	E
DBSO	6,9 B n.d.	7,5 Aa	709,1 A n.d.	627,9 Ba	91,8 A n.d.	93,3 Ba
DBSC	6,7 B n.d.	7,3 Ab	642,5 A n.d.	572,2 Bb	91,7 A n.d.	93,5 Ba

*A – afluente; **E – efluente ou biofertilizante; nd – não determinado.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si na comparação do afluente (A) e efluente (E), pelo teste t (P=0,05).

Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si na comparação dos tratamentos, pelo teste t (P=0,05).

Em estudo realizado por Silva et al.(2013) onde foi avaliada a biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco de ovino e caprino, manipueira e a adição de 25% de biofertilizante proveniente do mesmo substrato observou-se que na última semana de operação dos biodigestores o pH apresentou um valor médio de 6,27.

Em estudo realizado por Araújo et al. (2007b) utilizando biofertilizante de bovino, em experimento com 30 dias de fermentação, o pH analisado foi de 6,4. Já Campos et al. (2008), utilizando biofertilizante de bovino em fermentação anaeróbica observaram pH com valor de 6,8. Segundo Moura (2012), em biodigestores operados com estercos de bovino, os valores ótimos de operação oscilam entre 6,6 e 7,6 com limites de 6,5 a 8,0, corroborando assim com os valores de pH do biofertilizante observado no presente estudo.

Um parâmetro muito importante que é recomendado na Legislação do CONAMA 375/06 é a condutividade elétrica (CE), pois, sabe-se que a aplicação de material orgânico com elevada CE pode acarretar problemas de salinização do solo. O conteúdo de sais dissolvidos no biofertilizante tem efeitos benéficos para a cultura quando aplicado em doses adequadas. Quando este adubo orgânico é aplicado em excesso, os sais ali presentes podem

Fl.: 112 Proc.: 193-GUANDU/15
Rubrica:

afetar os cultivos pelo efeito da salinidade e também pelo efeito tóxico direto de alguns íons como o cloro, o sódio e o boro (SANCHEZ, 2000). A condutividade elétrica apresentou uma redução de aproximadamente 11%, nos dois substratos avaliados, após o processo de biodigestão. Ao contrário do observado por Silva et al. (2013), que observou aumento da condutividade elétrica ao longo do processo de biodigestão num estudo sobre as características físico-químicas de biofertilizante de vinhaça, com adição de 0,5% de inóculo de esterco bovino. A legislação do CONAMA 375/06 não apresenta valores de referência para a CE no lodo de esgoto. Por outro lado, a FAO estabelece diretrizes para qualidade da água para irrigação, evidenciando que as maiores limitações de uso na agricultura irrigada são a salinização dos solos e a toxicidade de íons específicos (Na^+ e Cl^-). Quanto à CE, a FAO recomenda que a água a ser utilizada seja < 0,7 dS/m. Os valores observados no presente trabalho para os efluentes se encontram abaixo do estabelecido para água de irrigação pela FAO. Os biofertilizante não apresentam, então, risco ao solo e a planta quanto à salinidade.

Sousa et al. (2014) observaram uma condutividade de 800 µs cm^{-1} em biofertilizante bovino preparado a partir de uma mistura de partes iguais de esterco fresco de bovino e água não salina sob fermentação anaeróbia, durante 30 dias. Por outro lado, Neto et al. (2013) observaram valores de condutividade de 312 µs cm^{-1} em biofertilizante oriundos de dejetos de bovino. Silva et al. (2011), avaliando os efeitos da aplicação de biofertilizante líquido bovino no solo, observaram que, apesar do biofertilizante elevar o caráter salino do solo em relação aos tratamentos sem o insumo, ele propiciou maior área foliar e matéria seca da parte aérea das plantas.

5.2.3 Teores de carbono e matéria orgânica nos biofertilizantes

A Tabela 7 apresenta os teores de carbono orgânico e matéria orgânica nos biofertilizantes. Os biofertilizantes oriundos de DBSO e DBSC apresentaram um teor de C mínimo para serem considerados como fertilizantes orgânicos, com valores de 97,14 e 91,04 g kg^{-1}, respectivamente.

De acordo com o Decreto 4.954 que define usos, legislação e métodos de análises para fertilizantes orgânicos, estabelece-se o teor total mínimo de 8% para carbono orgânico nos fertilizantes orgânicos. Segundo a literatura, o teor de carbono para esterco bovino varia muito com valor médio de 14,7% (GOMES, 2011).

Os biofertilizantes apresentaram teores de MO de 156,96 e 167,47 g kg^{-1} nos DBSC e DBSO, respectivamente. Apesar de maiores teores no DBSO, não foi observado diferença estatística significativa entre os tratamentos (P = 0.05).

O emprego de fertilizantes orgânicos tem papel fundamental no aumento de produção, visto que, por conterem elevados teores de matéria orgânica podem melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, além de promover um desenvolvimento vegetativo adequado à obtenção de produtividade economicamente viável produtores rurais (SILVA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2001; ARAÚJO et al., 2007).

Tabela 7. Teores de carbono (C) e matéria orgânica (MO) nos biofertilizantes oriundos de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção.

Tratamentos	C	MO
	g kg^{-1}	
DBSO	97,14 A	167,47 A
DBSC	91,04 A	156,96 A

*Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t (P= 0,05).

5.2.4 Teores de macro e micronutrientes e metais pesados nos biofertilizantes

As Tabelas 8 e 9 apresentam os resultados das análises de macro e micronutrientes e de alguns metais pesados, realizados para determinação dos elementos previstos na Resolução Conama 375/06, a partir de Espectroscopia de Absorção Atômica.

De acordo com os resultados, todos os parâmetros analisados se encontraram abaixo daqueles estabelecidos pela legislação do CONAMA 375/06, para os dois biofertilizantes produzidos (DBSC e DBSO). Não havendo, portanto, implicação no uso desses biofertilizantes no solo (Tabela 9).

Observou-se que, os teores dos nutrientes Mg, K e Fe foram superiores nos biofertilizantes de DBSO, enquanto que, os teores de Ca, Mn, Cu, Zn e Ni foram maiores nos biofertilizantes de DBSC (Tabela 8). Não foi observada diferença estatística para os teores de Al e P.

Fl.: 118 Proc.: 198 GUANDU/15
Rubrica:

De acordo com o DECRETO nº 4.954, o teor total mínimo de Ca e Mg no fertilizante é de 1%. Para os teores de Ca, observaram-se valores de 1,14 e de 1,70% para os DBSO e DBSC, respectivamente, obedecendo assim o mínimo necessário estabelecido. Com relação ao teor de Mg, os valores observados se apresentam abaixo dos estabelecidos pelo DECRETO 4.954, sendo de 0,80 e 0,60% para os DBSO e DBSC, respectivamente. Porém, esses valores se encontram acima dos observados na literatura. Gomes (2011) observaram em biofertilizante oriundo de dejetos de bovinos teores de Mg de 0,3%.

De modo geral, observa-se na literatura um teor de 1 à 5% de fósforo no biofertilizante. O DBSO apresentou teores de 1,5% não sendo diferente estatisticamente dos DBSC, que apresentou valores de 1,6%. Na literatura, o nível de K no biofertilizante varia de 0,5 a 3%. O DBSO apresentou teor de K de 0,07% e o DBSC de 0,04%. Orrico Junior (2008), analisando biofertilizante composto por dejetos de suínos observou concentrações maiores, com médias de 2,05% de P e 2,32% de K.

Tabela 8. Valores de macro e micronutrientes e metais pesados nos biofertilizantes oriundos de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção.

Tratamentos	Ca	Mg	Na	K	Al	P
	----------mg/kg----------					
DBSO	11.420,21 B	8.779,21 A	108,94 B	775,86 A	0,00 A	15.625,18 A
DBSC	17.060,18 A	6.224,33 B	612,20 A	477,72 B	0,00 A	16.505,33 A

*Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t (P= 0,05).

Nas plantas, a toxidez pode ser causada pela elevada concentração de sais, elevados teores de elementos, bem como quantidades relativamente pequenas dos chamados "metais pesados". Esse controle da toxidez pode ser realizado pela aplicação de fertilizante orgânico, visto que esse material apresenta a propriedade em fixar, complexar ou quelar esses elementos. A Tabela 9 apresenta os teores de micronutrientes e metais pesados nos biofertilizantes e os valores máximos permitidos na Legislação do CONAMA 375/06 e pelo DECRETO nº 4.954 para fertilizantes orgânicos.

O CONAMA 375/06 apresenta os requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado destinado à agricultura, estabelecendo os limites máximos de concentração. Já o DECRETO Nº 4.954 dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio

de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Os biofertilizantes produzidos a partir de DBSO e DBSC não apresentaram elevadas concentrações de metais pesados, não ultrapassando os limites estabelecidos pela Legislação do CONAMA 375/06. Porém, com relação ao DECRETO Nº 4.954 que diz respeito à máxima concentração de contaminantes permitidas nos fertilizantes orgânicos, o DBSC apresentou teores de Cd acima do permitido pela lei (Tabela 9).

O biofertilizante oriundo de DBSO apresentou menores teores dos metais pesados Pb e Cd, o que confere a esse biofertilizante maiores vantagens por não contaminar o solo quando aplicado em relação ao DBSC. Os maiores níveis de metais pesados apresentados no DBSC podem ser justificados pelo uso de ração comercial na alimentação dos animais, além da presença de vacinação (prevenção de raiva, carbúnculo assintomático e aftosa) e uso de antibióticos quando necessário no manejo. Apesar de também receberam as vacinas necessárias na criação animal devido à obrigatoriedade das leis, os animais pertencentes ao sistema orgânico de produção de leite não recebem antibiótico, sendo tratados por homeopatia (FLORIÂO, 2013). Esse tipo de tratamento não elimina resíduos presentes em medicamentos utilizados em sistemas convencionais, favorecendo assim, como observado nos resultados, uma melhor qualidade nos dejetos de bovinos sob sistema orgânico. Além disso, a alimentação é feita com o uso de pasto orgânico, sem a utilização de rações comerciais, que apresentam elevados teores de metais pesados.

Com relação aos micronutrientes, os DBSC apresentaram maiores teores de Cu (50,03 mg/kg), sendo estatisticamente diferente dos DBSO (13,83 mg/kg). Em experimento avaliando qualidade do biofertilizante produzido a partir de dejetos de suínos, Miranda et al. (2012) observaram níveis de Cu de 157 mg/kg e 572 mg/kg de Zn no biofertilizante proveniente de dejetos dos animais que recebiam dieta a base de sorgo. Esses valores se encontram muito acima dos encontrados no presente trabalho, e podem ser justificados pela origem diferenciada do biofertilizante (suíno), além da dieta apresentada.

A matéria orgânica adicionada ao solo pode contribuir para fornecimento de ferro pela adição do elemento contido na sua composição, pela ação dos microorganismos, pela decomposição e desprendimento do gás carbônico, dentre outros (KIEHL, 2010). Os teores desse micronutriente foram mais elevados no tratamento DBSO (1,4 %) quando comparados ao DBSC (0,6%).

Fl.: 119 Proc.: 128-GUANDU/15
Rubrica:

Tabela 9. Valores médios de micronutrientes e metais pesados nos biofertilizantes oriundos de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção. E, a concentração máxima permitida pela Legislação do CONAMA 375/06 e os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos pelo DECRETO Nº 4.954.

Metais	DBSO	DBSC	CONAMA 375/06	DECRETO 4.954
	----------(mg/kg)----------			
Bário	138, 81 A	83,56 B	1300	-
Cádmio	0,04 B	8,22 A	39	3
Chumbo	22,06 B	28,40 A	300	150
Cobre	13,83 B	50,03 A	1500	-
Níquel	4,96 B	8,22 A	420	70
Ferro	1.423,73 A	617,34 B	-	-
Manganês	626,38 B	636,16 A	-	-
Zinco	110, 86 B	240, 23 A	2800	-

*Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t (P= 0,05).

5.3 Análises biológicas no biofertilizante

Para a caracterização do biofertilizante quanto à presença de agentes patogênicos, foram determinadas as concentrações de coliformes termotolerantes, de acordo com a metodologia exigida pela Resolução Conama 375 (Tabela 10).

Tabela 10. Concentração de coliformes termotolerantes (NMP/g de ST) nos biofertilizantes de dejetos de bovino, sob sistema orgânico e convencional de produção.

Tratamentos	**Biofertilizante** (NMP/g de ST)	**Concentração máxima de patógenos permitidos pelo CONAMA 375.**
Biofertilizante do DBSC	2,00	Coliformes termotolerantes
Biofertilizante do DBSO	54,83	$<10^3$ NMP/g de ST

Infere-se, portanto, que as concentrações de coliformes termotolerantes estão muito abaixo dos padrões estabelecidos pela resolução. O processo de biodigestão foi eficaz no controle da concentração de coliformes termotolerantes. Sendo, portanto, seguro o uso do

material biofertilizante de ambos tratamentos, no que diz respeito as concentrações de coliformes termotolerantes.

Fl.: 120 Proc.: 198 -GUANDU/15
Rubrica:

6 CONCLUSÕES

A produção de biogás a partir dos dejetos de bovinos, sob sistema convencional de produção, apresentaram uma maior produção acumulada de biogás, assim como, um maior potencial energético quando comparada com a produção nos dejetos de bovinos sob sistema orgânico de produção. Apesar do DBSC apresentar maior volume de biogás, o DBSO apresentou pico de biogás adiantado e conseqüentemente com menor TRH que o DBSC. Sendo assim, o biodigestor deste tratamento poderá ser abastecido cinco vezes ao ano, enquanto que o biodigestor dos DBSC somente três vezes ao ano. Isso acarretará numa maior produção de energia, em kWh, a partir dos DBSO. Além disso, o DBSO demonstrou uma melhor qualidade do biogás, no que diz respeito à concentração de metano, em comparação ao DBSC.

Os biofertilizantes oriundos de DBSO e DBSC apresentaram um teor de C mínimo para serem considerados como fertilizantes orgânicos. Os teores dos macronutrientes Mg e K foram superiores nos biofertilizantes de DBSO e os teores dos micronutrientes Mn, Cu e Zn foram maiores nos biofertilizantes de DBSC. Porém, o DBSC apresenta teores de Cd acima do permitido pela "Legislação de Fertilizantes Orgânicos"

Os sistemas de produção de leite influenciaram tanto na produção do biogás quanto nas características químicas e físicas do biofertilizante. O manejo adotado, especialmente a alimentação dos animais, influenciou nos resultados obtidos, demonstrando que uma alimentação a base de concentrado, volumoso e ração comercial contribui de forma mais significativa para produção de biogás.

Finalizando, os DBSC apresentaram-se mais eficientes na produção de biogás durante os 210 dias de biodigestão, enquanto que, os DBSO demonstraram maior potencial de uso como adubo orgânico das culturas, visto que, possui menor concentração de metais pesados, e todos os demais elementos químicos se encontram dentro dos níveis permitidos pela legislação.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições do experimento em laboratório se diferem do que é observado em campo quanto à quantidade de sólidos para o preparado do afluente, condições de temperatura e umidade, TRH e agitação de substrato. No entanto, o estudo em laboratório serve como base para compreender o comportamento do material em relação à produção de biogás, pH, CE, redução de sólidos, concentração de macro e micronutrientes e metais pesados durante o processo. Esses resultados podem contribuir para posteriores estudos e servir de apoio na implementação de biodigestores no campo.

Pode-se inferir que, em cada propriedade rural em que há um biodigestor instalado, serão observadas diferentes produções de biogás e características químicas, físicas e biológicas do biofertilizante. Essas diferenças são devido à peculiaridade de cada dejeto animal, alimentação adotada, manejo animal, tamanho do biodigestor, temperatura da região, dentre outros.

Recomenda-se o uso de biodigestores na Fazendinha Agroecológica e na PESAGRO-RJ para o tratamento dos resíduos gerados, produção de biogás e produção de biofertilizante. Parte da energia produzida poderá ser utilizada no processo de produção, além de se constituir numa prática recomendada dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e garantir com isso, créditos de carbono.

Fl.: 124 Proc.: 198-GUANDU/15
Rubrica:

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. A. Panorama atual da produção orgânica de leite no Brasil. *Revista Agroecologia Hoje*, v. 29, p. 24-25. 2005.

AMARAL, C. M. C.do.; AMARAL, L.A. do; JUNIOR, J.de L; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRAS, de S. D.; MACHADO, M.R.F . Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n.6, 2004.

AMORIM, A. C. *Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes*. 2002. 108 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

ANDRADE, M. A. N.; RANZI, T. J. D.; MUNIZ, R. N. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental.UFSC. In: 4º Encontro de energia no meio rural – AGRENER 2002. Campinas/SP, p. 1-12, 2002.

AMORIM, A. C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K. T. Efeito da estação do ano sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.1, p.16-24, 2004.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 21th ed. Washington: American Water Works Association, 2005, p.1386.

ARAÚJO, E. N.; OLIVEIRA, A. P., CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; BRITO, N. M.; CYNTHIA, M. D. L.; SILVA, É. É. Produção do pimentão adubado com esterco bovino e biofertilizante. *Revista Brasileira de Engenharia Agríc*ola *e Ambiental*, v. 11, n. 5, p. 466-470, 2007a.

ARAÚJO, F. A. R. *Biofertilizante bovino e adubação mineral no mamoeiro e na fertilidade do solo*. 2007. 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, PB, 2007b.

ARRUDA, M. H.; AMARAL, L. De L.; PIRES, O. P. J.; BARUFI, C. R. V. Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa. *Revista Científica Eletrônica De Agronomia*, Garças, ano 1, n. 2, 2002.

Augusto, K. V. Z. *Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia*. 2007. 131 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita", 2007.

AZEVEDO, F. G. *Estudo das condições ambientais para produção de Biogás a partir de glicerol co-produto do Biodiesel*. 2010. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco – Campus de Recife – PE, Recife, PE, 2010.

BRAND, S. I.; MUMBACH, G. L.; DIEL, M. I.; PORTELA, V. O.; SCHNEIDER, F. J.; SILVA, D. R. Dados preliminares sobre caracteristicas de propriedades de bovinocultura leiteira da região noroeste do RS. *Revista interdisciplinar de ensino, pesquisa e extensão*, v. 2, n. 1, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 375. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n. 167, p. 141-146, 30 ago 2006.

BARRERA, P. *Biodigestores* - Energia, Fertilidade e Saneamento Para Zona Rural – São Paulo – Ícone, 1993.

BARROS, R. M., FILHO, G. L. T., NASCIMENTO, Y. D. S., GUSHIKEN, É., CALHEIROS, H. C., SILVA, F. G. B., JÚNIOR, A. S. Estudo da Produção de Biogás da Digestão Anaeróbia de Esterco Bovino em um Biodigestor. *Revista Brasileira de Energia*, v. 15, n. 2, 2009.

BIAGIOLI, B. *Características fermentativas e econômicas da produção de biogás utilizando dejetos de cabras leiteiras*. 2013. 54 f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, 2013.

BÓCOLI, M. E.; MANTOVANI, J. R.; MIRANDA, J. M.; MARQUES, D. J.; SILVA, A. B. Soil chemical properties and maize yield under application of pig slurry biofertilizer. *Revista Brasileira de Engenharia Agríc*ola *e Ambiental*, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 42-48, Jan. 2016 .

BOLETIM SETORIAL DO AGRONEGÓCIO. Bovinocultura leiteira. SEBRAE. Recife, p. 32. 2010.

BRAZ, S.; SEGUNDO, U.; ALVES, B. J.; JANTALIA, C. P.; GUIMARÃES, A. P.; SANTOS, C. A.; SANTOS, S.; PINHEIRO, E. F. M.; BODDEY, R. M. Soil Carbon Stocks under productive and degraded *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. *Soil Sci.Soc. Am. J.*, v. 77, p. 914–928, 2013.

BRITO FILHO, L. F. *Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos*. 2005. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

CAETANO, L. *Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás*. 1985. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrárias e Veteriárias, Botucatu, 1985.

CAMPOS, V. B.; CAVALCANTE, L. F.; MORAIS, T. A.; MENEZES JUNIOR, J. C.; PRAZERES, S. S. Potássio, biofertilizante bovino e cobertura do solo: Efeito no crescimento do maracujazeiro-amarelo. *Revista Verde*. Mossoró, RN, v.1, n.3, p. 78-86 de jan/mar. 2008.

CAMPOS, V. B.; CAVALCANTE, L. F.; CAMPOS, S. S. P.; GHEYI, H. R.; CHAVES, L. H. G.; MESQUITA, F. O.; Esterco bovino líquido em luvissolo sódico: Resposta biométrica e produtiva do maracujazeiro amarelo. *Idesia (Arica)*, v. 29, n. 2, p. 59-67, 2011.

Fl.: 122 Proc.: 1618-GUANDU/15
Rubrica:

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; FOLEGATTI, M. V.; COSTA, J. R.; CRUZ, F. A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica, RJ, utilizando lisímetro de pesagem. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.14, p.108-116, 2006.

CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. Biodigestores. In: VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Ponta Grossa – Paraná. 2008.

CASTRO, L. R.; CORTEZ, L. A. B. Influência da temperatura no desempenho de Biodigestores com esterco bovino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. São Paulo, v. 2, n. 1, p.97-102, 1998.

CETESB. Coliformes fecais: determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos com meio A1 método de ensaio. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 20p. (Norma Técnica L5.406). 1992.

CHERNICHARO, C. A. L. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; reatores anaeróbios*. 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1997. v. 5.

CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios*. Belo Horizonte: DESA-UFMG. 245 p. 2007.

COLDEBELLA, A. *Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais*. Dissertação de mestrado. Cascavel- PR, 2006.

COSTA, L. V. C. *Biodigestão anaeróbia da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos de suínos: produção de biogás e qualidade do biofertilizante*. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009.

CÔTE, C.; MASSE, D.I.; QUESSY, S. Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. *Bioresource Technology*, v. 97, n. 1, p. 686-691, 2006.

DEGANUTTI, R., PALHACI, M. C. J. P., ROSSI, M., TAVARES, R., SANTOS, C. *Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada*. FEAGRI. Faculdade de Engenharia Agrícola de São Paulo, São Paulo, 2002.

DECRETO Nº 4954, de 14/01/2004, regulamentação da Lei Nº 6894, de 16/12/1980. Presidência da República – Casa Civil – Sub Chefia para Assuntos Jurídicos.

DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C.C. Bipers: Coletâneas de tecnologias sobre dejetos suínos. EMBRAPA-Aves e Suínos e EMATER/RS; 2002.

ESPERANCINI, M. S. T.; COLEN, F.; BUENO, O. C.; PIMENTEL, A.E.B.; SIMONE.J. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de São Paulo. *Revista de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 110-118, 2007.

FAERJ/SEBRAE. Diagnóstico da cadeia produtiva do leite do estado do Rio de Janeiro: Relatório de Pesquisa. Rio de Janeiro, 2003, 264 p.

FAERJ/SEBRAE. Diagnóstico da cadeia produtiva do leite do estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010, 180 p.

FAO. Biodigestor de plástico de flujo continuo, generador de gás y bioabono a partir de águas servidas. CIPAV: Fundación Centro para la Investigación em Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Ciudad de Guatemala, 1995, 17 p.

FERNANDES, A. L. T.; TESTEZLAF, R. Fertirrigação na cultira do melão em ambiente protegido, utilizando-se fertilizantes organominerais e químicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 1, p. 45-50, 2002.

FERNANDES, D. M. *Análise de riscos físicos e químicos em sistemas de tratamento de efluentes utilizando biodigestores no meio rural*. 2014. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2014.

FERREIRA, M. A. M.; ABRANTES, L. A.; PEREZ, R. Investigação de grupos estratégicos na indústria de laticínios por meio da abordagem multivariada. *Revista de Administração Mackenzi*, São Paulo, v. 9, n. 2, 2008.

FLORIÃO, M. M. Boas práticas em bovinocultura leiteira com ênfase em sanidade preventiva/. Niterói: Programa Rio Rural. Manual Técnico; 38 2013. 50 p.

FLORINDO, T. J.; MEDEIROS, G. I. B.; COSTA, J. S.; RUVIARO, C. F. Competitividade dos principais países exportadores de carne bovina no período de 2002 a 2013. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 12, n. 1, 2, 3, 2015.

GALBIATTI, J. A.; CARAMELO, A. D.; SILVA, F. G.; GERARDI, E. A. B.; CHICONATO, D. A. Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande , v. 14, n. 4, p. 432-437, Apr. 2010 .

GASPAR, R. M. A. B. L. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR. 2003. 119 f. Dissertação (Engenharia de Produção) – UFSC, Santa Catarina, 2003.

GUANDALIM, A.; CHAVES, C. B. M. Parâmetros de qualidade do leite cru resfriado comercializado no Sudoeste do Paraná. 51 f. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Alimentos) Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Paraná, 2014.

HAACK, S. C. *Análise técnica e econômica para aproveitamento dos dejetos de caprinos em biodigestores no semiarido baiano*. 2009. 215f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal, 2010. Disponível em:

Fl.: 189 Proc.: 1779-GUANDU/15
Rubrica:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/comentarios.pdf. Acesso em: 15 jan. 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal 2013, Rio de Janeiro, v. 41, p.1-108, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal 2015. Disponível em: http://www1.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201502comentarios.pdf. Acesso em: 18 jan. 2016.

INOUE, K. R. A. Produção de Biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante, obtido na digestão da manipueira. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

KAMPF, N. & SCHNEIDER, P. Caracterização de solos orgânicos do Rio Grande do Sul: Propriedades morfológicas e físicas como subsídios à classificação. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 13, p. 227-236, 1989.

KIEHL, E. J. *Novos Fertilizantes Orgânicos*. Agronômica Ceres Ltda, Piracicaba. 2010. 248p.

LUCAS JÚNIOR, J. *Estudo comparativo de biodigestores modelo indiano e chinês*. 1987. 114 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1987.

LUCAS JÚNIOR, J.; SANTOS, T.M.B. Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás. In: Proceedings do Simpósio sobre resíduos da Produção Avícola. 12 Abril. Concórdia, SC, p. 27-43, 2000.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/bovinos-e-bubalinos . Acesso em: 23 dez. 2015.

MARI, A.G. *Digestão anaeróbia de dejetos suínos na presença de produtos de limpeza e desinfecção na fase acidogênica*. 2014. 61 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal - Parte II da Segunda Comunicação Nacional do Brasil. 2010. Disponível em: http://www.mct.gov.br/ Acesso em: 02 dez 2015.

MIRANDA, A. P.; LUCAS JUNIOR, J. D.; THOMAZ, M. C.; PEREIRA, G. T.; FUKAYAMA, E. H. Anaerobic biodigestion of pigs feces in the initial, growing and finishing stages fed with diets formulated with corn or sorghum. *Revista de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 47-56, 2012.

MOURA, J. P. *Estudo de casos das rotas tecnológicas para produção de biogás e da influência da composição química de dejetos de matrizes suínas na qualidade do biogás*

gerada por biodigestor. 122 p. Dissertação (Mestrado), Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco. 2012.

NETO, A. J. L.; DANTAS, T. A. G.; CAVALCANTE, L. F.; DIAS, T. J.; DINIZ, A. A. Biofertilizante bovino, cobertura morta e revestimento lateral dos sulcos na produção de pimentão. *Revista Caatinga*, v. 26, n. 3, p. 1-8, 2013.

NOGUEIRA, L. A. H. *Biodigestão: a alternativa energética*. São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVIER, A. P. M; SOUZA NETO, A.A; QUADROS, D.G. & VALLADARES, R.E. - Manual de Treinamento em Biodigestão – Winrock - USAID - Energia e Desenvolvimento. Versão 2.0, 2008. 22p

OLIVEIRA, A. P.; FREITAS NETO P. A.; SANTOS E. S. Produtividade do inhame, em função de fertilização orgânica e mineral e de épocas de colheita. *Horticultura Brasileir*a, v. 19, p. 144-147, 2001.

OLIVEIRA, A. B. M.; ORRICO, A. C. A.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; SUNADA, N. S.; CENTURION, S. R. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. *Revista Ceres*, Viçosa , v. 58, n. 6, p. 690-700, 2011.

OLIVEIRA, M. M. *Estudo da inclusão de compartimentos em biodigestores modelo canadense*. 2012. 33 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 639-647, 2007.

ORRICO, A. C. A.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestão anaeróbia dos dejetos de cabritos Saanen alimentados com dietas com diferentes proporções volumoso e concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 40, n. 2, 2011.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P. *Biodigestão anaeróbia e compostagem de dejetos de suínos, com e sem separação de sólidos.* 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Departamento de Engenharia Rural/Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2007.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestão anaeróbia dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças. *Revista Engenharia Agrícola, Jaboticab*al , v. 30, n. 3, p. 546-554, Junho 2010.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; ORRICO A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. *Revista Engenharia Agrícola,* Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 600 -607,jul./ago. 2010b.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO A. C. A.; LUCAS JR, J. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 399-410, 2011.

Fl.: 124 Proc.: 108 -GUANDU/ 15
Rubrica:

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JR, J.; SAMPAIO, A. A. M.; FERNANDES, A. R. M.; OLIVEIRA, E. A. Biodigestão anaeróbia dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 41, n. 6, p. 1533-1538, 2012.

PASCHOAL, A. *Produção orgânica de alimentos: agricultura sustentável para os séculos XX e XXI. Guia técnico e normativo para o produtor, o comerciante e o industrial de alimentos orgânicos e insumos naturais*. 1994. 279p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.1994.

PECORA, V. *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de Energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto Residencial da usp – estudo de caso.2006. 152 f.* Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

PEREIRA, E. R.; DEMARCHI, J. J. A. A.; BUDIÑO, F. E. L. *BIODIGESTORES - Tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária*. Infobibos - Informações Tecnológicas, Campinsa - SP, , v. único, p. 1 - 5, 06 nov. 2009.

PERMINIO, G.B. *Viabilidade do uso de biodigestor como tratamento de efluentes domésticos descentralizado*. 2013. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Formas Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

QUADROS, D. G.; OLIVER, A. P. M.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; SOUZA, P. H. F.; FERREIRA, E, J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 326-332, Mar. 2010 .

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Version 3.1.0. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014.

RANZI, T. J. D.; ANDRADE, M. A. N. Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás. In: Encontro De Energia No Meio Rural E Geração Distribuída, 5., 2004, Campinas. Anais... Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004.

RICCI, M. S. F, NEVES, M. C. P. *Cultivo do Café Orgânico*. Seropédica-RJ: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2004. 95p.

RIBEIRO, D. S. Determinação das dimensões de um biodigestor em função da proporção gás/fase líquida. Holos, [S.l.], v. 1, p. 49-56, mar. 2011. ISSN 1807-1600. Disponível em: <http://www.etfrn.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/269>. Acesso em: 28 Ago. 2015.

RIZZONI, L. B.; TOBIAS, A. C. T.; DEL BIANCHI, M.; GARCIA, J. A. D. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. *Revista Científica Eletrônica De Medicina Veterinária*, Alfenas, p.7-8, 2012.

RODRIGUES, J. P. *Efeito da adição de óleo e lipase sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos suínos*. 2012. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2012

SALMINEN, E. A.; RINTALA, J. A. Semi-continous anaerobic digestion of solid poultry slanghterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading. *Water Research*, Londres, v. 36, p. 3.175-3.182, 2002.

SALOMON, K. R. *Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade*. 2007. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SANCHES, J. Fertirrigación: Principios, Factores, Aplicaciones. Fertitec S.A. Seminario de Fertirrigación: Apukai-Comex Perú Lima. 2000. 26p.

SANCHES, V. L. *Remediação de Solos da Formação São Paulo Contaminados por Vapores de Gasolina*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - USP Escola Politécnica, São Paulo, SP, 2009.

SANTANA, L. E.; CINTRA, L. M. L.; A biodigestão como solução para a destinação dos resíduos do setor pecuarista. *Revista da Ciência da Administração*, v.6, 2012.

SANTOS, T. M. B. *Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frango de corte*. 1997. 95f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia - Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

SILVA, E. S. O.; MARAFON, G. J. *A agricultura familiar no estado do Rio de Janeiro. II Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional. 2004.* Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Santa Cruz do Sul, RS, 2004.

SILVA, J. R. G.; ROCHA, A. R.; FERREIRA, A. S. A importância de detecção de gases para prevenção de danos à segurança, meio ambiente e saúde: fontes de interferência em sinais 4 a 20 Ma. *Revista Bolsista de Valor*, v. 1, p. 359-364, 2010.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; NEVES, A. L. R.; SILVA, G. L.; SOUSA, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p. 383–389, 2011.

SILVA, J. A.; DE OLIVEIRA, A. P.; ALVES, G. D. S.; CAVALCANTE, L. F.; DE OLIVEIRA, A. N.; ARAÚJO, M. A. Rendimento do inhame adubado com esterco bovino e biofertilizante no solo e na folha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 3, p. 253-257, 2012b.

SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P. L.; KUROKI, V.; ALMEIDA, L. F.; MAGNONI JÚNIOR, M. L. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. *Química Nova*, v. 35, n.1, p. 35-40, 2012.

Fl.: 125 Proc.: 198-GUANDU/15 Rubrica:

SILVA, C. O.; SANTOS, A. S.; SANTOS, M. B.; CEZAR, V. R. S. Biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovinocaprino, manipueira e biofertilizante. Revista Ibero - Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v. 4, n. 1, 2013.

SIQUEIRA, J. *Co-digestão de glicerina bruta associada a esterco bovino na produção de biogás*. Dissertação (Mestrado em Bioenergia)–Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2012.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J.; SILVA, F. M. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 658-664, 2007.

SOARES, J. P. G., CAVALCANTE, A. C. R., HOLANDA JUNIOR, E. V. *Agroecologia e Sistemas de Produção Orgânica para Pequenos Ruminantes*. EMBRAPA Agrobiologia, Rio de Janeiro, 2008, p. 40.

SOETHE, G. C.; *Aproveitamento da massa visceral da tilápia (Oreochromis Niloticus) para produção de biogás*. 2014. 73f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2014.

SOUSA, M. R. P.; RISTOW, A. M.; NOGUEIRA, E. B.; TORRES FILHO, R. A.; CORTEZ, M. A. S. Caracterização de pequenas unidades produtoras de leite na região Centro e Noroeste do estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*, v. 18, n. 2-3, 2011.

SOUSA, G. G.; LIMA, F. A.; GOMES, K. R.; VIANA, T. V. A.; COSTA, F. R. B.; AZEVEDO, B. M.; MARTINS, L. F. Irrigação com água salina na cultura do amendoim em solo com biofertilizante bovino. *Nativa*, v. 2, n. 2, p. 89-94, 2014.

SOUZA, J. S. I.; PEIXOTO, A. M.; TOLEDO, F. F. *Enciclopédia agrícola brasileira*: AB. Edusp, São Paulo. 1995. v1.

STEIL, L. *Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos*. 2001. 127 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. USA: McGraw-Hill, 1993.

TEIXEIRA, J. C; HESPANOL, A. N. A trajetória da pecuária bovina brasileira, *Caderno Prudentino de Geografia*, Presidente Prudente, n.36, v.1, p.26-38, jan./jul. 2014.

TONISSI, R. H.; GOES, B.; SOUZA, A. K. A.; PEREIRA, D. F.; OLIVEIRA, E. R.; BRABES, K. C. Degradabilidade ruminal da matéria seca e proteína bruta, e tempo de colonização microbiana de oleaginosas, utilizadas na alimentação de ovinos. *Revista Acta Scientiarum*. Animal Sciences. Maringá, v. 33, n. 4, p. 373-378, 2011.

VILLELA JUNIOR, L. V. E.; ARAUJO, J. A. C.; BARBOSA, J. C.; PEREZ, L. R. B. Substrato e solução nutritiva desenvolvidos a partir de efluente de biodigestor para cultivo do meloeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, p. 152 – 158, 2007.

VIRIATO, C. L.; LEITE, V. D.; SOUSA, J. T.; LOPES, W. S.; OLIVEIRA, E. G.; GUIMARÃES, H. S. Influência da granulometria e da concentração de sólidos totais na codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 17, n. 1, p. 6-15, 2015.

WALKER, E. *Estudo da viabilidade econômica na utilização de biomassa como fonte de energia renovável na produção de biogás em propriedades rurais*. 2009. Tese de Doutorado. Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

United States Environmental Protection Agency – USEPA Microwave assisted acid digestion of sediments sludge, soils, and oils. EPA SW 846 3051a. 30p, 2007). Disponível em: http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf. Acesso em: 3 set. 2015.

XAVIER, C. A. N,; JUNIOR, J. L. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 2, p.212-223, 2010.

YORGOS, R. Detecção de Gases, Técnicas de Medição em Espaços Confinados. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/dominios/crpe/anexos/ deteco%20de%20gas es%20-%20yorgos%20ambiental.pdf>.

ZANATO, J. A. F. *Produção e qualidade do biogás gerado com os dejetos de diferentes espécies animais*. 2014. 112 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.

Fl.: 126 Proc.: 198-GUANDU/15
Rubrica:

ANEXOS

Tabela 11. Valores médios de produção de biogás (m³) por semana

Semana	Produção média semanal (m³)	
	Tratamento	
	DSO	DSC
1	0,000004A	0,000000 A
2	0,000002 A	0,000003 A
3	0,000000 A	0,000003 A
4	0,000001 A	0,000002 A
5	0,000021 A	0,000002 A
6	0,000044 A	0,000010 B
7	0,000066 A	0,000016 B
8	0,000075 A	0,000039 B
9	0,000122 A	0,000061 B
10	0,000078 A	0,000018 B
11	0,000118 A	0,000043 B
12	0,000068 A	0,000072 A
13	0,000020 A	0,000122 B
14	0,000027 A	0,000185 B
15	0,000026 A	0,000139 B
16	0,000015 A	0,000094 B
17	0,000005 A	0,000037 B
18	0,000014 A	0,000066 B
19	0,000007 A	0,000049 B
20	0,000008 A	0,000026 A
21	0,000061 A	0,000142 B
22	0,000036 A	0,000094 B
23	0,000007 A	0,000036 B
24	0,000030 A	0,000082 B
25	0,000031 A	0,000071 B
26	0,000008 A	0,000018 A
27	0,000021 A	0,000025 A
28	0,000011 A	0,000007 A
29	0,000023 A	0,000053 B
30	0,0000015 A	0,00007 A

*Médias seguidas de mesma letra entre as colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 12. Valores médios de produção de biogás (m³/kg de substrato)

Semana	Produção média semanal (m³)	
	Tratamento	
	DSO	DSC
1	0,000020 A	0,000000 A
2	0,000010 A	0,000010 A
3	0,000000 A	0,000013 A
4	0,000010 A	0,000008 A
5	0,000087 A	0,000008 A
6	0,000180 A	0,000045 B
7	0,000271 A	0,000069 B
8	0,000311 A	0,000162 B
9	0,000505 A	0,000250 B
10	0,000322 A	0,000075 B
11	0,000486 A	0,000179 B
12	0,000281 A	0,000300 A
13	0,000082 A	0,000503 B
14	0,000115 A	0,000764 B
15	0,000107 A	0,000575 B
16	0,000061 A	0,000390 B
17	0,000020 A	0,000154 B
18	0,000059 A	0,000273 B
19	0,000031 A	0,000205 B
20	0,000033 A	0,000108 A
21	0,000254 A	0,000586 B
22	0,000152 A	0,000390 B
23	0,000028 A	0,000148 B
24	0,000124 A	0,000339 B
25	0,000127 A	0,000295 B
26	0,000033 A	0,000077 A
27	0,000086 A	0,000105 A
28	0,000051 A	0,000031 A
29	0,000096 A	0,000221 B
30	0,000063 A	0,000030 A

*Médias seguidas de mesma letra entre as colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fl.: 127 Proc.: 193-GUANDU/95
Rubrica:

Tabela 13. Valores médios de produção de biogás (m³/kg de ST)

Semana	Produção média semanal (m³/kg de ST)	
	Tratamento	
	DSO	DSC
1	0,000246 A	0,000000 A
2	0,000124 A	0,000126 A
3	0,000000 A	0,000159 A
4	0,000123 A	0,000093 A
5	0,001054 A	0,000094 A
6	0,002176 A	0,000542 B
7	0,003277 A	0,000840 B
8	0,003757 A	0,001971 A
9	0,006101 A	0,003048 B
10	0,003888 A	0,000910 B
11	0,005872 A	0,002177 B
12	0,003398 A	0,003650 A
13	0,000992 A	0,006122 B
14	0,001389 A	0,009303 B
15	0,001296 A	0,007000 B
16	0,000741 A	0,004752 B
17	0,000247 A	0,001870 B
18	0,000712 A	0,003332 B
19	0,000372 A	0,002499 B
20	0,000402 A	0,001315 A
21	0,003063 A	0,007136 B
22	0,001831 A	0,004745 B
23	0,000339 A	0,001806 B
24	0,001496 A	0,004127 B
25	0,001533 A	0,003592 B
26	0,000400 A	0,000931 A
27	0,001045 A	0,001270 A
28	0,000614 A	0,000375 A
29	0,001164 A	0,002690 B
30	0,000764 A	0,000369 A

*Médias seguidas de mesma letra entre as colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 14. Valores médios de produção de biogás (m³/kg de SV)

Semana	Produção média semanal (m³/kg de SV)	
	Tratamento	
	DSO	DSC
1	0,001184 A	0,000000 A
2	0,000598 A	0,000570 A
3	0,000000 A	0,000720 A
4	0,000594 A	0,000423 A
5	0,005073 A	0,000426 A
6	0,010467 A	0,002461 B
7	0,015775 A	0,003810 B
8	0,018086 A	0,008940 B
9	0,029371 A	0,013826 B
10	0,018713 A	0,004126 B
11	0,028267 A	0,009876 B
12	0,016356 A	0,016558 A
13	0,004775 A	0,027767 B
14	0,006688 A	0,042200 B
15	0,006239 A	0,031753 B
16	0,003568 A	0,021553 B
17	0,001190 A	0,008483 B
18	0,003429 A	0,015115 B
19	0,001789 A	0,011335 B
20	0,001937 A	0,005964 A
21	0,014745 A	0,032367 B
22	0,008816 A	0,021523 B
23	0,001634 A	0,008192 B
24	0,007201 A	0,018717 B
25	0,007378 A	0,016292 B
26	0,001927 A	0,004224 A
27	0,005030 A	0,005762 A
28	0,002955 A	0,001699 A
29	0,005604 A	0,012203 A
30	0,003678 A	0,001674 A

*Médias seguidas de mesma letra entre as colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fl. 128 Proc. 198-GUANDU/15
Rubrica: