

XII-021 - TRATAMENTO DE DEJETOS DE ANIMAIS EM REATOR DE BANCADA PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS

Joel Dias da Silva⁽¹⁾

Doutor em Engenharia Ambiental – Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Regional de Blumenau.

Michel Konig⁽²⁾

Graduado em Engenharia Química, Universidade Regional de Blumenau

Rafaela Franqueto⁽³⁾

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Regional de Blumenau

Endereço⁽¹⁾: Rua São Paulo, 3250 - Blumenau - SC- CEP: 89030-000 - Brasil - Tel: (47) 3221-6072 - e-mail: dias_joel@hotmail.com

RESUMO

As fontes alternativas de energia tem sido temas de pesquisa por todo o mundo, tendo como objetivo a diminuição da dependência dos combustíveis de origem fóssil. Uma destas alternativas para diversificação da matriz energética é o biogás, uma fonte de energia renovável e sustentável, que permite reduzir a emissão de gases de efeito estufa, bem como a redução dos impactos causados pela deposição de resíduos da agricultura e pecuária no meio ambiente. Desta maneira, o presente trabalho tem como objetivo a otimização na produção de biogás a partir da co-digestão de resíduo agrícola com dejetos animais provenientes de bovinos. O trabalho constitui-se inicialmente de uma revisão bibliográfica, e posteriormente de uma etapa experimental, onde realizou-se a coleta e secagem dos resíduos (agrícola e dejetos), a realização de testes analíticos, que permitiram determinar as proporções a serem trabalhadas no ensaio laboratorial, montagem e o monitoramento de biodigestores anaeróbios de bancada. Após o término da parte experimental, os resultados foram analisados levando em consideração a configuração (dejetos/resíduo) e a temperatura adotadas no decorrer dos dias, quando por fim foi possível determinar que o reator B foi o que melhor gerou biogás quando comparado com os demais reatores, com uma produção de 68 mL (na CNTP).

PALAVRAS-CHAVE: Bovinocultura, Dejetos animais, Tratamento, Digestão anaeróbia, Biogás.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a atividade da bovinocultura ganha bastante destaque, notadamente pela imensa dimensão territorial destinada à atividade e pelas condições climáticas favoráveis, fazendo com que o país seja considerado um dos grandes produtores mundiais. De acordo com dados do IBGE (2014) apud Silva (2016), o rebanho bovino no país, no ano de 2014, atingiu aproximadamente em 212 milhões de cabeças, tendo um acréscimo de 569 mil cabeças em relação ao ano anterior, o que fez com o país ficasse na segunda posição no ranking mundial, atrás apenas da Índia.

Com tais números expressivos, a preocupação com os subprodutos desta cultura, como é o caso dos dejetos, é crescente, uma vez que, questões ambientais e destinação adequada de dejetos, ainda não têm sido uma prática em todos os lugares. A destinação inadequada dos dejetos, por exemplo, possibilita a contaminação do solo, da água e do ar, bem como a proliferação de vetores transmissores de doenças (BAEYENS et al., 2015). Por outro lado, quando manejados corretamente, podem trazer ao produtor alguns benefícios, tais como a produção de biogás, biofertilizante e a diminuição da emissão de gás carbônico no meio ambiente (SILVA, 2016, EMBRAPA, 2018).

Destacadamente o biogás, sua composição é dependente da fonte de matéria orgânica utilizada e das condições em que ocorreram a fermentação. É constituído principalmente por metano e dióxido de carbono, com pequenas concentrações de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, oxigênio, amônia e outros. Na Tabela 1, composições médias, comumente encontradas, são apresentadas (SILVA, 2009):

Tabela 1: Composição média do biogás

Composto	Composição (%)
Metano	50 – 80
Dióxido de carbono	25 – 50
Hidrogênio	0 – 1
Sulfeto de Hidrogênio	0 – 3
Oxigênio	0 – 2
Amônia	0 – 1
Outros	1 – 5

Fonte: Silva (2009, p. 28)

O biogás é um combustível que poderá ser empregado na produção de vapor, por exemplo. Desta forma, é possível utilizá-lo em caldeiras, substituindo combustíveis tradicionalmente utilizados, não renováveis em sua maioria, como carvão mineral, como também o carvão vegetal, óleo combustível, dentre outras formas de energia (OLIVEIRA, 2009). O biogás, obtido pela fermentação dos resíduos sólidos agrícolas, apresenta um potencial calorífico em torno de 22.500 a 25.000 kJ.m⁻³, assumindo-se que o CH₄ possua 35.800 kJ.m⁻³. Com o tratamento e remoção do CO₂, o poder calorífico do biogás se potencializa, tendo em vista que 60% do poder calorífico do gás provem do metano (SALOMON, LORA, 2005).

Para produzir o biogás é necessário utilizar os dejetos dos animais, uma vez tornando essa produção com muitas variáveis. Algumas destas variáveis estão relacionadas com a quantidade de dejetos produzidos e a composição alimentar dos animais, além de fatores externos como o clima, o local de criação dos animais e o quão eficiente o biodigestor será. A produção diária dos dejetos bovinos leiteiros é em torno de 10% de sua massa corporal, ou seja, aproximadamente 45 kg por dia, em média. Enquanto isso, os bovinos com finalidade de corte que são confinados produzem em média 35 kg por dia (KONZEN; ALVARENGA, 2018).

Os estudos relacionados a produção de biogás a partir de co-digestão de resíduos, em sua grande maioria é realizada em laboratório. Portanto, existe uma lacuna na literatura no que tange a estudos que identifique a melhor condição de operação dos biodigestores, objetivando a maior produção de biogás.

Apesar do uso de biodigestores ser considerado um processo simples, diferentes técnicas são utilizadas para melhorar o processo da biodigestão anaeróbia e, dentre elas está a separação de frações, permitindo a busca de eficiência no processo da biodigestão e aumento da qualidade do biogás (transformando-o em biometano) e biofertilizante gerados.

Quando se trata da escolha da biomassa a ser utilizada, comumente permeiam o uso de resíduos de alta disponibilidade na região; buscando alternativas para o seu reaproveitamento e valorização, além de contribuir com a redução do seu impacto ambiental ao permanecer no campo. Assim, para o desenvolvimento da pesquisa deu-se destaque para os dejetos bovinos, resíduos da cultura do arroz.

Deste modo, destacou-se como objetivo, a otimização na produção de biogás a partir da co-digestão de resíduo agrícola com dejetos animais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho constitui na investigação de otimização do potencial de geração do biogás a partir de resíduos agrícolas (palha de arroz) em proporções distintas com dejetos bovinos. Primeiramente, foi realizado o levantamento bibliográfico onde foram abordados temas referentes à produção do biogás, a bovinocultura e os resíduos agrícolas, através da base de dados do Science Direct, em periódicos com elevado fator de impacto e disponibilidade ao acesso na íntegra. Outras bases de dados utilizadas foram: Portal Periódicos da CAPES, *Scopus* e *Web of Science*. Para identificar os principais resíduos do setor do agronegócio no Brasil, foram

utilizadas as publicações oficiais de órgãos governamentais como EPE (Empresa de Pesquisa Energética), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e estatística) no que se refere a bovinocultura e resíduo da cultura de arroz.

Na etapa experimental, após a coleta e secagem dos resíduos (agrícola e dejetos), os mesmos foram submetidos a testes analíticos (pH, DQO, N, P, ST, Umidade) para que, posteriormente fossem definidas as proporções a serem trabalhadas no ensaio laboratorial para a otimização da produção de biogás.

COLETA E PREPARO DO RESÍDUO E INÓCULO

O resíduo de arroz (substrato) foi coletado em propriedades da região. Este foi seco ao sol e acondicionado em refrigeração até o início do preparo para o ensaio. Os sólidos totais (ST) da palha de arroz foram de 88%.

Em laboratório, com objetivo de manter a homogeneidade das amostras, ambos os resíduos foram moídos em máquina de moer. Já que a diminuição da granulometria aumenta a área superficial das amostras, aumentando assim a velocidade de degradação dos resíduos (VAVILIN et al., 2008). O dejetos animal foi coletado e imediatamente transferido para o laboratório para refrigeração.

MONTAGEM E PARTIDA DOS BIODIGESTORES ANAERÓBIOS DE BANCADA - ENSAIO BMP

O experimento constituiu-se na montagem e monitoramento de biodigestores anaeróbios de bancada, através de ensaio BMP (Potencial Bioquímico de Metano). Nesse sentido, o ensaio BMP foi utilizado para avaliar a produção de metano de resíduos agrícolas e dejetos de animais. As proporções dejetos/resíduo foram fixadas com base nos sólidos totais. Foram realizados 4 tratamentos, em triplicata, como sugerido por Angelidaki et al. (2009) para que possuíssem significância estatística:

- Tratamento A: proporção 1:0 (dejetos/resíduo agrícola), reator somente com dejetos bovino;
- Tratamento B: proporção 1:1 (dejetos/resíduo agrícola);
- Tratamento C: proporção 3:1 (dejetos/resíduo agrícola);
- Tratamento D: proporção 10:1 (dejetos/resíduo agrícola).

Os biodigestores utilizados eram constituídos de frascos de borosilicato de 250 mL, com tampa de rosca equipada com válvula para saída de gás e manômetro (faixa de leitura de 0 a 2,5 kgf.cm², escala de 0,20 kgf.cm⁻²) para a leitura da pressão interna dos frascos (Figura 1).



Figura 1 - Foto dos biodigestores utilizados contendo resíduo + dejetos

Os diferentes tratamentos foram preparados em modo batelada, sendo que o preenchimento dos biodigestores seguiu a ordem: resíduo de palha de arroz e inóculo. Todas as amostras foram homogeneizadas para aumentar a interação entre inóculo-resíduo. Não houve adição de água, garantindo-se que os tratamentos fossem realizados nas mesmas condições experimentais de umidade, para fins de comparação dos resultados de produção de biogás ao final dos 60 dias de digestão. A umidade escolhida para este trabalho foi de 85%, dentro da faixa recomendada para a geração de biogás por Andreoli et al. (2003, p. 125) e USEPA (1991).

Após o preenchimento do biodigestor, o mesmo era submetido a uma corrente de gás nitrogênio (N_2) no *headspace* dos frascos, por um período de aproximadamente 5 minutos, garantindo assim, segundo Li et al., (2015 p.320), as condições de anaerobiose do meio.

Procedeu-se a incubação dos biodigestores, que ocorreram em temperaturas variando entre 36 e 60°C, com objetivo de análise da temperatura ótima para a associação de resíduos, baseando-se no que a literatura reporta: em condições termofílicas (55°C), a maior parte do biogás é gerada nos primeiros 10 dias de ensaio (HANSEN et al., 2004), enquanto em condições mesofílicas (35°C) a atividade metanogênica é iniciada aos poucos, e por consequência a produção de biogás ocorre de forma muito lenta (LABATUT et al., 2011).

Importante ressaltar, que a passagem de temperatura da condição mesofílica para termofílica deve ser realizada lentamente, a fim de ocorrer adaptação da comunidade microbiológica presente (ZIGANSHIN et al., 2013).

MÉTODOS ANALÍTICOS – ANÁLISES QUANTITATIVAS

As análises de pH e ST foram realizadas conforme descrito por APHA (2005), enquanto nitrogênio total, fósforo total e demanda química de oxigênio (DQO) foram determinados pelos kits de teste Hach. Na Tabela 2 são apresentados os métodos analíticos utilizados para os parâmetros de caracterização.

Tabela 2: Parâmetros de caracterização do resíduo agrícola e dejetos animal e métodos analíticos utilizados

Parâmetro	Método analítico	Descrição
Umidade (%)	Gravimétrico	Secagem da amostra em estufa (103±2) °C
ST (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	Secagem da amostra em estufa (103±2) °C
DQO (mg.L ⁻¹)	Espectrofotométrico	Digestão a 150°C por 120 minutos. Leitura no espectrofotômetro.
pH	Potenciométrico	Medida direta por meio de eletrodo específico
Massa de resíduo agrícola e dejetos	Pesagem em balança analítica	Precisão de 0,1 mg

MONITORAMENTO DOS REATORES BMP

O monitoramento se deu pela pressão interna (diário, exceto sábados e domingos) dos frascos de acordo com o método manométrico, considerando as variações de pressão interna (dos biodigestores) e externa (ambiente).

Os valores de pressão interna foram obtidos por leitura dos manômetros acoplados aos biodigestores, enquanto que os valores de pressão externa foram obtidos pela Epagri (2018). Os valores de pressão foram convertidos em volume de biogás nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) de acordo com a lei de gases ideais ($PV = nRT$), onde: P: pressão absoluta medida nos manômetros; V: volume de biogás gerado; T: temperatura do biogás; R: constante universal dos gases (LABATUT et al., 2011, p. 2256).

Para obter os valores reais de produção de biogás a partir do resíduo de arroz, os valores de volume de biogás obtidos foram subtraídos dos valores de biogás gerado nos brancos (apenas com inóculo - dejetos), sendo este procedimento descrito por Angelidaki et al., (2009, p. 931) e empregado por Browne et al., (2014, p. 308) e Schirmer et al., (2014, p. 375).

ANÁLISE DOS DADOS

Para a realização dos cálculos da produção de biogás, foram necessários os dados da pressão atmosférica e as leituras da pressão interna. Com os dados obtidos foi possível calcular o volume de biogás produzido nos frascos de BMP, conforme as Equações (1); (2); (3) e (4) (HARRIES; CROSS; SMITH, 2001):

$$Geração\ entre\ T + (T + 1) = \left[\frac{PF \times VUF \times 22.41}{[83.14 \times TF]} \right] \times 1000 \quad (1)$$

Onde: T (tempo – dias); PF (pressão do frasco em milibar); VUF (volume útil do frasco, em litros); TF (temperatura do frasco, em Kelvin).

$$Volume\ acumulado = [Produção\ entre\ T\ e\ (T + 1) + VGA] \quad (2)$$

Onde: Volume acumulado (em mL); T (tempo – dias); VGA (volume de biogás acumulado do dia anterior, em mL)

$$Volume\ biogás\ acumulado\ CNTP = [volume\ acumulado] \times \left[\frac{273}{TF} \right] \times \left[\frac{Patm - 42}{760} \right] \quad (3)$$

Onde: Volume biogás acumulado CNTP (em NmL); TF (temperatura do frasco, em Kelvin); Patm (pressão atmosférica, em milibar)

$$Taxa\ de\ produção\ de\ biogás = \frac{volume\ acumulado\ CNTP}{n^{\circ} de\ dias} \quad (4)$$

Onde: Taxa de produção de biogás (em NmL/dia); volume acumulado CNTP (NmL).

Assim, o volume de biogás acumulado, em mL, foi corrigido e calculado na CNTP, sendo obtido o volume de biogás em NmL e esse, viabilizando os valores para a taxa de produção média do biogás diária.

RESULTADOS

Os ensaios foram realizados sem agitação em virtude de se recomendar que apenas reatores com volume menor que 50 m3 operem sem agitadores; visto que, para os reatores de maior porte é fundamental que haja agitação durante o processo de digestão (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2008).

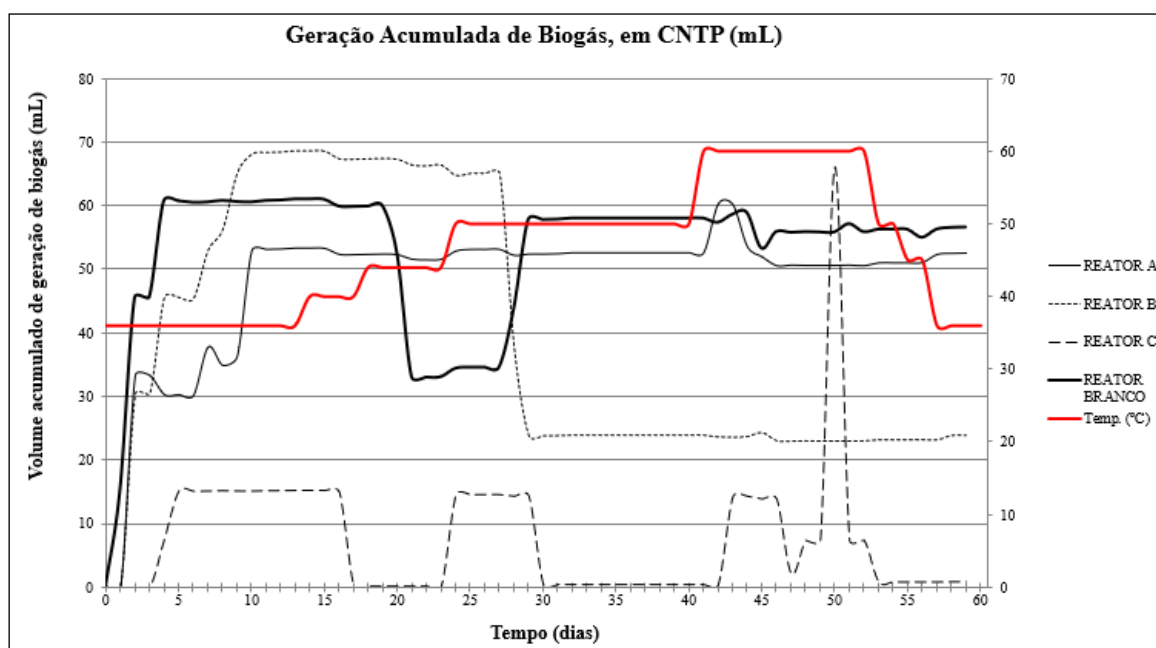


Figura 2 - Relação da geração acumulada de biogás

A partir da Figura 2, verifica-se que o Reator A (proporção 1:1) ficou abaixo do mínimo de produção do biogás com inóculo (dejetos de bovino), tornando-o ineficiente para produção de biogás em associação de resíduos. Ressalta-se que, para que a co-digestão do dejetos com o resíduo agrícola seja eficiente é necessário o volume de biogás produzido na associação dos resíduos, apresenta-se maior quando comparado ao volume para o dejetos sozinho (MATA-ALVAREZ, DOSTA, ROMERO-GUIZA 2014; CARRERE, ANTONOPOULU, AFFES, 2016). Isso pode ter ocorrido devido à existência de uma grande variedade de substâncias tóxicas responsáveis por inibir os sistemas anaeróbios, como por exemplo, a carga orgânica e a presença de agentes inibitórios (CHEN et al., 2016).

Com relação à influência do parâmetro temperatura, o reator A apresentou produção acentuada e contínua na faixa mesofílica (20 a 45°C), corroborando com pesquisa de Liu et al., (2017) ao concluir que a temperatura mesofílica (mais precisamente 44°C) apresentaram maior eficiência na produção de biogás a partir da co-digestão de dejetos animal com resíduo agrícola.

O Reator C (proporção 10:1), apesar de ter acumulado aproximadamente 66,15 mL de biogás, a parcela atribuída somente à palha de arroz foi de 5,13 mL. Verificamos na Figura 2, que a produção de biogás não sofreu muita influência pelo aumento da temperatura gradativo, porém diferente do reator B, a parcela em que ocorreu a maior produção foi a temperaturas termofílicas (40 a 70°C).

O Reator B (proporção 3:1) melhor se adaptou para a produção de biogás em relação aos outros, com uma produção total de 68,66 mL (na CNTP). A palha do arroz contribuiu com 7,63 mL dessa produção, correspondendo a aproximadamente 11% da produção total de biogás. O maior acúmulo da produção ocorreu na temperatura limite superior da mesofílica (40°C) entre o intervalo de tempo de 1 a 17 dias e conforme Pecora (2006), Amani et al. (2010) e Cabbai et al. (2013), o limite superior da mesofílica é ideal para uma ótima produção de biogás.

A temperatura é um dos parâmetros mais significativos de influência no processo de digestão anaeróbia (APPELS et al., 2011). As bactérias arqueas metanogênicas são bastante sensíveis às variações de temperatura, e se desenvolvem principalmente em temperaturas mesofílicas (30 – 40°C) e termofílicas (40 – 70°C), sendo que a acomodação termofílica apresenta maiores taxas de conversão dos sólidos em biogás e o processo mesofílico, apesar de possuir melhor estabilidade e maior diversidade microbiana, pode apresentar baixos teores de metano devido à maior demanda por nutrientes, por conta da grande variedade de microrganismos operantes (MAO et al., 2015).

Percebeu-se que, à medida que as temperaturas se elevaram, aproximando-se de temperaturas termofílicas, a produção de biogás no Reator B diminuiu, mantendo-se até o fim do experimento em 23 mL. Isso ocorreu devido à estabilização do sistema, ou seja, quando a produção se tornou constante, ocorrendo por volta dos 30 dias.

A Tabela 3 apresenta os dados referentes às análises laboratoriais de nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e DQO.

Tabela 3: Consumo em (%) das análises ao decorrer do ensaio

Ensaio	Reator A	Reator B	Reator C	Branco
Nitrogênio	31.00	53.51	20.16	48.33
Fósforo	71.29	63.33	57.91	12.55
Sólidos Totais	21.20	62.90	73.63	89.97
DQO	44.50	2.96	20.00	6.46

É possível notar que, o Reator B, além de possuir uma melhor produção de biogás, apresentou umas das melhores taxas de consumo de nitrogênio total, fósforo total e sólidos totais, isso significa que dentre os apresentados é o mais indicado para aplicação industrial.

CONCLUSÕES

Percebeu-se que, ao utilizar diferentes proporções do resíduo de palha de arroz houve diferenças na produção de biogás, especialmente quando comparados com o reator branco (apenas com o inóculo).

Quando comparados entre si, os três reatores que fizeram uso do resíduo de palha de arroz apresentaram produções de biogás notoriamente distintas, o que talvez seja explicado pela diferença de temperatura proposta pelo experimento no decorrer da pesquisa, onde os reatores A e C não atingiram objetivo proposto.

Pensando em configuração para uma possível alteração na escala (scale-up), o reator que melhor se adaptou foi o B, com proporção de 3:1 (dejetos/palha) e com significativa produção de biogás (68,66 mL), em um curto período (30 dias) e a uma temperatura de aproximadamente 40 °C.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e Projeto PIBIC/FURB 2017-2018 Edital nº.557/2017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMANI, T.; NOSRATI, M.; SREEKRISHNAN, T. R. Anaerobic digestion from the viewpoint of microbiological, chemical, and operational aspects: a review. *Environmental Reviews*, n. 18, p. 255-278, 2010.
2. ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C.; CHERNICHARO, C. A. AND BORGES, E. S. M., Secagem e higienização de lodos com aproveitamento de biogás, In: Cassini, S. T. (Ed.), *Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás*, Rio de Janeiro: ABES, Rima, p. 121-165, 2003.
3. ANGELIDAKI, I.; ALVES, M.; BOLZONELLA, D.; et al. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: A proposed protocol for batch assays. *Water Science and Technology*, v. 59, n. 5, p. 927-934, 2009.
4. APHA (2005). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 21 th ed. Washington
5. APPELS, L.; ASSCHEB, A. V.; WILLEMSB, K.; DEGRÈVEA, J.; IMPEA, J. V.; DEWIL, R. Peracetic acid oxidation as an alternative pretreatment for the anaerobic digestion of waste activated sludge. *Bioresource Technology*, v. 102, n. 5, p. 4124-4130, 2011.
6. BAEYENS, J.; KANG, Q.; APPELS, L.; DEWIL, R.; LV, Y.; TAN, T. Challenges and opportunities in improving the production of bio-ethanol. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 47, p. 60-88, 2015.
7. BROWNE, J. D.; ALLEN, E.; MURPHY, J. D. Assessing the variability in biomethane production from the organic fraction of municipal solid waste in batch and continuous operation. *Applied Energy*, v. 128, p. 307-314, 2014. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.097>>.
8. CABBAL, V.; BALLICO, M.; ANEGGI, E.; GOI, D. BMP tests of source selected OFMSW to evaluate anaerobic codigestion with sewage sludge. *Waste management*, v. 33, n. 7, p. 1626-1632, 2013.
9. CARRERE, H.; ANTONOPOULOU, G.; AFFES, R.; et al. Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application. *Bioresource Technology*, v. 199, p. 386-397, 2016.
10. CEPA. *Boletim Agropecuário*. 49. ed. Florianópolis: Epagri, 2017. 52 p
11. CHEN, G.; LIU, G.; YAN, B.; SHAN, R.; WANG, J.; LI, T.; WU, W. Experimental study of co-digestion of food waste and tall fescue for biogas production. *Renewable Energy*, v. 88, p. 273-279, 2016. CHEN, G.; LIU, G.; YAN, B.; SHAN, R.; WANG, J.; LI, T.; WU, W. Experimental study of co-digestion of food waste and tall fescue for biogas production. *Renewable Energy*, v. 88, p. 273-279, 2016.
12. DEUBLEIN, D., STEINHAUSER, A. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Weinheim Wiley-VCH, 2008. 443p.
13. EMBRAPA. *Relatório de atividades 2015*. Concórdia: Embrapa, 2015. 24 p.
14. EPAGRIM. *Previsão do Tempo por Município*. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=141>. Acesso em: 10 jun. 2018.

15. HANSEN, T. L.; SCHMIDT, J. E.; ANGELIDAKI, I.; et al. Method for determination of methane potentials of solid organic waste. *Waste Management*, v. 24, n. 4, p. 393–400, 2004.
16. HARRIES, C.R; CROSS, C.J; SMITH, R. (2001) Development of a biochemical methane potential (BMP) test and application to testing of municipal solid waste samples. In: *Proceedings Sardinia. Eighth International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari: CISA, v. 1, p. 579-588.
17. KONZEN, Egídio Arno; ALVARENGA, Ramon Costa. Adubação Orgânica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_48_16820051_1159.html>. Acesso em: 10 jul. 2018.
18. LABATUT, R. A.; ANGENENT, L. T.; SCOTT, N. R. Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates. *Bioresource Technology*, v. 102, n. 3, p. 2255–2264, 2011. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.035>>.
19. LI, D.; LIU, S.; MI, L.; et al. Effects of feedstock ratio and organic loading rate on the anaerobic mesophilic co-digestion of rice straw and cow manure. *Bioresource Technology*, v. 189, p. 319–326, 2015.
20. Liu, C., Wachemo, A.C., Tong, H., Shi, S., Zhang, L., Yuan, H., Li, X., Biogas production and microbial community properties during anaerobic digestion of corn stover at different temperatures, *Bioresource Technology* (2017),
21. MAO, C.; FENG, Y.; WANG, X.; REN, G. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 45, p. 540-555, 2015.
22. MATA-ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; ROMERO-GÜIZA, M. S.; et al. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 36, p. 412–427, 2014.
23. 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.
24. SALOMON, K.R.; LORA, E.E.S. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. *Biomassa & Energia*, v.2, n.1, p.57-67, 2005.
25. SCHIRMER, W. N.; JUCÁ, J. F. T.; SCHULER, A. R. P.; HOLANDA, S.; JESUS, L. L. Methane production in anaerobic digestion of organic waste from recife (Brazil) landfill: Evaluation in refuse of different ages. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 31, n. 2, p. 373–384, 2014.
26. SILVA, D. J. C. Análise dos benefícios econômicos e ambientais da reutilização de dejetos na produção de bovinos de corte em confinamento comercial. 2016. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão do Agronegócio, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Ciências Aplicadas, Limeira, 2016.
27. SILVA, C. A. B. V. Limpeza e Purificação de Biogás. 2009. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharias, Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, Vila Real, 2009. Disponível em: <https://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/263/1/msc_cabvsilva.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2018.
28. OLIVEIRA, R. D. Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbica de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono. São Carlos, USP. 98p. Monografia (Trabalho de conclusão de curso de engenharia elétrica) - Universidade de São Paulo, 2009.
29. USEPA. Air emissions from municipal solid waste landfills – Background information for proposed standards and guidelines. United States Environmental Protection Agency.1991.
30. VAVILIN, V. A.; FERNANDEZ, B.; PALATSI, J.; FLOTATS, X. Hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic material: An overview. *Waste Management*, v. 28, n. 6, p. 939–951, 2008.