

Acompanhamento do Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) na Biodigestão de Vinhaça e Utilização de seu Biofertilizante em Sementes de Feijão

C.E.F.Silva¹; A. K. S.Abud¹

¹Centro de Tecnologia/Laboratório de Ensino em Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, CEP 57072-970, Maceio-AL, Brasil

eduardo.farias.ufal@gmail.com;

(Recebido em 01 de maio de 2013; aceito em 19 de julho de 2014)

A vinhaça possui ótimas características para ser utilizada no processo de biodigestão anaeróbia para produção de metano, diminuindo sua DQO e quantidade de sólidos totais presentes, bem como incorporando fósforo e nitrogênio total, aumentando suas características fertilizantes e diminuindo seu poder poluente. Esse trabalho visou caracterizar o biofertilizante produzido em um biodigestor com 2 L de vinhaça e 0,5% de esterco bovino como inóculo, em tempo de retenção hidráulico de 70 dias, avaliando-se o pH e os teores finais de fósforo, nitrogênio e DQO. A DQO foi acompanhada ao longo de todo o processo para verificar até quando ocorreria uma redução eficiente e significativa da matéria orgânica. Verificou-se, também, a eficiência do biofertilizante com o cultivo de pés de feijão, com a inserção de 2 sementes de feijão, 20 g de solo e 10 mL do biofertilizante nas concentrações de 0 a 100% (sem diluição) em um recipiente sem furo. O pH variou nos 7 primeiros dias por causa da fase acidogênica, houve incremento de 10% de fósforo e nitrogênio total e redução de 66,4% na DQO. Percebeu-se que a partir do 30º dia não houve queda significativa da DQO. O cultivo de feijão demonstrou eficiência nas concentrações de 40 e 60% de biofertilizante, com os pés apresentando rápida germinação, elevação e desenvolvimento dos trifólios.

Palavras-chave: vinhaça, biodigestao, feijao.

Evaluation of Hydraulic Retention Time (HRT) in Digestion of Stillage and Use of Biofertilizer in Seed Bean

The vinasse has excellent characteristics for use in the process of anaerobic digestion for methane production, decreasing their amount of COD and total solids present as well as incorporating phosphorus and total nitrogen, increasing their features fertilizantes and decreasing its power pollutant. This paper describes the biofertilizers produced in a digester with 2 L of vinasse and 0.5% of cattle manure as inoculum in hydraulic retention time of 70 days to evaluate the pH and the final concentration of phosphorus, nitrogen and COD. The COD was monitored throughout the process to verify when efficient and significant reduction of organic matter. It is also the efficiency of biofertilizer with growing bean plants, with the insertion of two bean seeds, 20 g of soil and 10 ml of biofertilizer at concentrations of 0 to 100% (without dilution) in a container without hole. The pH varied within 7 days because of acidogenic phase, there was an increase of 10% in total phosphorus and nitrogen and reduction of 66.4% in COD. It was noticed that from day 30 there was no significant decrease in COD. Growing beans demonstrated efficiency in concentrations of 40 and 60% of biofertilizers, feet with fast germination, elevation and development of trifoliolate leaves.

Keywords: vinasse, digestion, beans.

1. INTRODUÇÃO

A biodigestão anaeróbia é uma resposta recente às alternativas de aproveitamento da vinhaça, permitindo a estabilização da matéria orgânica com desassimilação de uma mistura gasosa, tendo como componentes principais o metano e o dióxido de carbono [1]. A conversão anaeróbia ocorre em um biodigestor, uma câmara fechada onde se abriga biomassa, que pode ser qualquer efluente rico em matéria orgânica, e o inóculo, que contém bactérias anaeróbias metanogênicas, a exemplo do esterco [2]. A biomassa fornece o substrato e o biodigestor a condição anaeróbia para a proliferação dessas bactérias, que possuem como resultado de seu metabolismo biogás e, do que sobrou do substrato, o biofertilizante, mais rico em nutrientes NPK, essenciais aos vegetais, do que o próprio efluente [1, 2].

A vinhaça é o principal subproduto da indústria sucroalcooleira e, entre suas características, estão alta concentração de matéria orgânica e de sólidos totais, além do baixo pH, elevado conteúdo de nitrogênio total, fósforo e potássio, denominados nutrientes NPK, muito utilizados na parametrização de conteúdos de fertilizantes para adubação.

A principal razão para a grande capacidade de fertilização do biofertilizante se encontra no fato de a digestão da biomassa diminuir drasticamente o teor de carbono presente na mesma, perdendo quase exclusivamente carbono sob a forma de CH_4 [3]. Além disso, os biofertilizantes são mais facilmente absorvíveis pelas plantas e possuem granulação mais fina, facilitando melhorias na estruturação do solo [4].

A rotação de culturas é uma prática comum e que permite a recuperação do solo nas entressafras, principalmente pelo fato de a monocultura causar danos físicos, químicos e microbiológicos no solo [5]. O feijão é o vegetal mais comumente utilizado em rotação de culturas, sendo uma alternativa para avaliação do uso do biofertilizante, tanto para a cultura da cana-de-açúcar quanto para a do feijão.

A avaliação da fertilização da vinhaça biodigerida para o cultivo de culturas é pouco difundida, precisando-se estabelecer as condições ótimas de aplicação, apesar da eficiência da vinhaça como fornecedor de nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta já ser bem estudado [6, 7, 8]. Cruz *et al.* [9] ressaltam diversos pontos positivos ao uso da vinhaça biodigerida em relação à *in natura*.

No desenvolvimento do biodigestor, principalmente nos mais comuns, batelada e semi-contínuo, um dos parâmetros que se deve conhecer é o tempo de retenção hidráulico (TRH), que, segundo Diesel [10], é o tempo de retenção necessário para a degradação da matéria orgânica, o qual pode demorar de 20 a 50 dias. Um TRH longo pode ser sinal de pouca conversão de matéria orgânica e, conseqüentemente, baixa eficiência do biodigestor, o qual depende do tipo de substrato e do inóculo que se utilize.

Esse trabalho avaliou o decaimento da biodigestão anaeróbia da vinhaça em um longo TRH, de 70 dias, verificando a eficiência do biofertilizante produzido em cultivo em laboratório de pés de feijão, sobre iluminação solar, ao longo de 12 dias, para avaliar o início da germinação, desenvolvimento dos ganchos, do primeiro par de folhas e do primeiro trifólio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A vinhaça foi gentilmente cedida pela Usina Cachoeira e os experimentos realizados no Laboratório de Ensino em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da UFAL, ambos localizados na cidade de Maceió-AL, Brasil, coordenadas 9.40S, 35.43W, latitude e longitude, respectivamente. A mesma foi coletada ainda quente e armazenada em banho de gelo até o laboratório, sendo identificada, acondicionada em garrafas plásticas e armazenadas em freezer.

Os procedimentos analíticos foram buscados a partir de trabalhos publicados na literatura sobre efluentes líquidos e o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater [11]. Para a caracterização físico-química da vinhaça foram realizadas as análises de sólidos totais fixos e voláteis, demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total (Kjedahl) e fósforo total, feitas em triplicata, com exceção da DQO.

A determinação do pH foi feita eletronicamente, com a utilização de potenciômetro e eletrodo. O equipamento foi aferido em soluções tampão pH 4,0 e 7,0. A análise de sólidos totais dissolvidos foi realizada por gravimetria, baseada na obtenção de resultados por meio da diferença de peso antes e após o processo de evaporação da amostra em estufa à 105°C. Os sólidos totais fixos foram determinados após calcinação em mufla à 550°C por uma hora. A diferença entre os sólidos totais e os sólidos totais fixos resultou nos sólidos totais voláteis. A determinação de DQO correspondeu à oxidação química da matéria orgânica, obtida através de um oxidante forte, o dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), em meio ácido, a elevada temperatura. A curva padrão de DQO para a análise espectrofotométrica foi realizada com soluções de biftalato de potássio de concentração conhecida.

A determinação do teor de fósforo foi feita pelo método do ácido ascórbico, a partir de leituras espectrofotométricas após digestão com ácido concentrado, construindo-se uma curva

padrão com soluções de fosfato de potássio (KH_2PO_4) de concentração conhecida. O nitrogênio total foi feito a partir de digestão com ácido sulfúrico e mistura catalítica (CuSO_4 , SeO_2 e NaSO_4), destilação da amostra e titulação com a solução-padrão de HCl 0,1N.

A biodigestão ocorreu em um biodigestor plástico, em batelada, sem agitação, com capacidade de 4 L, tampa vedada e duas saídas, uma lateral para coleta de amostras e ajuste de pH e outra superior para coleta do biogás, como ilustra a Figura 1. Utilizou-se o esterco bovino, ainda úmido, recentemente coletado, na proporção 0,5% (m/v). Foram utilizados 2 L de vinhaça e seu pH corrigido, quando necessário, a 7,0. As coletas eram no início (primeiros 30 dias) a cada 2 dias, depois desse período(30-70dias) a coleta era a cada 8-10 dias.

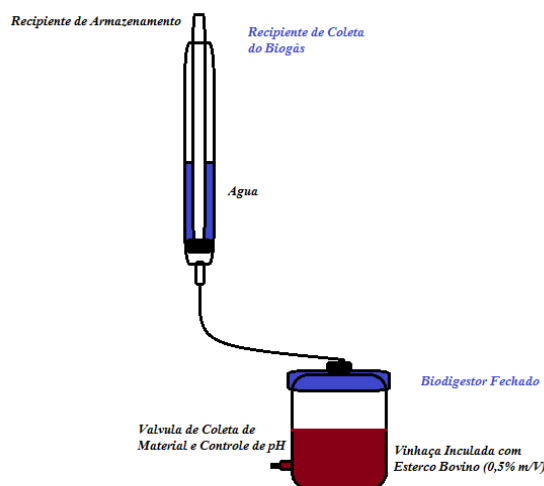


Figura 1: Esquema ilustrativo do Biodigestor.

Os testes com o biofertilizante foram realizados com cultivos de feijão. Utilizou-se terra coletada na própria Universidade e sementes de feijão carioca tipo II comercial. As quantidades para amostragem, detalhadas na Tabela 1, foram colocadas em copos descartáveis de 25 mL, sem furo no fundo, para não haver perda de biofertilizante por lixiviação.

Tabela 1: Quantidades definidas para o teste de biofertilizante.

Terra (g)	Biofertilizante (mL)	Concentrações (%)	Sementes
20	5	0, 20, 40, 60, 80 e 100	2

Foram analisados parâmetros de crescimento, avaliando-se desenvolvimento do gancho de germinação, elevação do primeiro par de folhas e produção do primeiro trifólio pelos pés de feijão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tempo de retenção hidráulico (TRH) para a biodigestão foi de 70 dias. A variação do pH ao longo do tempo é apresentada na Figura 2a, sendo o zero a medida constante, referente ao pH padrão utilizado, no caso 7,0, ao redor da neutralidade.

Percebeu-se que a fase acidogênica ocorreu até os 7 primeiros dias, com estabilidade mantida até o final do processo. O fato da variação do pH estar negativa significa que o pH abaixou nesses dias. O decaimento da DQO ao longo do tempo, mostrado na Figura 2b, ocorreu até o 30º dia, quando não mais se observou queda significativa da DQO, indicando não ser necessário um

TRH tão longo. O TRH pode variar entre 20 a 50 dias, dependendo do substrato e do esterco utilizado. No entanto, para esterco bovino, geralmente a faixa está compreendida entre 30 e 40 dias, com uma média de 35 dias [10, 12, 13].

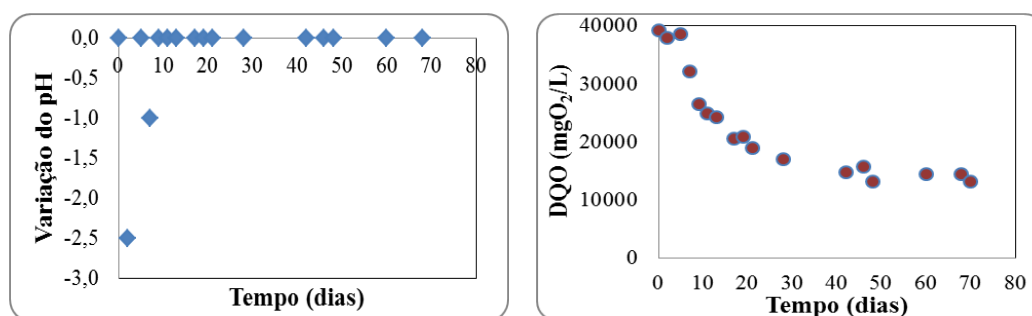


Figura 2: Parâmetros de Controle: a)Variação do pH e b)Decaimento da DQO.

Orrico Junior [14], estudando tempos de retenção hidráulico na produção de biogás a partir de dejetos suínos, entre 15 e 36 dias, observou que em 36 dias havia a maior remoção de DQO, em cerca 60 a 80%, enquanto que Amaral *et al.* [15], avaliando a produção de biogás a partir de dejetos de bovinos leiteiros em 20, 30 e 40 dias de TRH, observaram maior redução de sólidos totais em 40 dias. No entanto, todos esses estudos são baseados em dejetos de animais campestres. Neste estudo, com esterco bovino como inóculo, o que prepondera são as características do efluente, que é o que será decomposto e resultará no biogás.

Souza *et al.* [16], em um sistema de biodigestão anaeróbia a partir de dejetos suínos em escala laboratorial e utilizando o tempo de retenção hidráulico (TRH) e a temperatura como parâmetros de eficiência do biodigestor, verificaram diferenças significativas na produção de metano, com as melhores condições em um menor TRH e maior temperatura, 10 dias e 40°C, respectivamente. Prado *et al.* [17], estudando a biodigestão anaeróbia a partir de água residuária de café (ARF), em um TRH médio de 16,8 dias, obtiveram reduções de DQO em torno 70 a 82%, mostrando que, mesmo em pequeno TRH, se chegou à alta eficiência de tratamento.

Na Tabela 2 podem ser verificadas as características físico-químicas dos biofertilizantes, onde se observou redução da DQO, sólidos totais e sólidos totais voláteis, bem como incremento de sólidos totais fixos, nitrogênio e fósforo total. O teste de Tukey, que realiza uma análise estatística dos parâmetros, demonstrou que não há diferença significativa nos teores de fósforo e nitrogênio total ao nível de 5% de confiança. O aumento ou não da desassimilação de nutrientes NPK é importante, já que eles determinam grande parte da eficiência da adubação.

Tabela 2: Caracterização físico-química do biofertilizante.

Análise	Vinhaça	Biofertilizante	%R ou I*	%CV**
DQO(mgO ₂ /L)	38911,2	13096,8	66,70(R)	-
Sólidos totais(mg/L)	55728 ^a ± 3785	29770 ^b ± 504	46,58(R)	6,32
Sólidos totais fixos (mg/L)	16921 ^b ± 128	20417 ^a ± 566	20,66(I)	1,92
Sólidos totais voláteis (mg/L)	38807 ^a ± 3657	9353 ^b ± 61	75,90(R)	10,73
Nitrogênio total (mg N/L em NH ₃)	711 ^a ± 153	776,67 ^a ± 52,30	9,39(I)	15,23
Fósforo total (mg P/L em PO ₄)	17,56 ^a ± 0,88	19,10 ^a ± 1,72	8,77(I)	6,33

*R(% redução) e I(Incremento) dos parâmetros analisados. **Coeficiente de Variância entre os valores das variáveis analisadas. As letras ^a^b representam a análise estatística referente ao Teste de Tukey, letras diferentes representam diferenças ao nível de 5%.

Segundo Von Sperling [18], a remoção de DQO em sistemas de tratamento anaeróbio se situa em torno de 70%, valor encontrado nesse trabalho. Outros autores que trabalham com biodigestão anaeróbia citam valores de remoção no intervalo de 60 a 80%, em efluentes diversos como dejetos da ovinocultura e suinocultura, efluente da produção de café, esgoto, manipueira e vinhaça [17, 19, 20, 21].

Prado *et al.* [17], verificaram que os teores de P e N no efluente biodigerido, na maioria dos experimentos, sofriram leves elevações, em torno de 20 a 30%, devido à pouca ou quase nenhuma dissimilação dos conteúdos NPK presentes no efluente. Silva *et al.* [20] observaram redução de sólidos totais entre 27 e 50% em um sistema manipueira e dejetos de ovinos.

Durante o acompanhamento do crescimento dos pés de feijão, ao longo dos 12 dias da avaliação, foi observado, no início, germinação e crescimento mais rápido do branco (0%) e, com o passar dos dias, os pés na concentração 40 a 60% de biofertilizante possuíram um melhor desenvolvimento foliar, com formação do primeiro trifólio e sustentação, como ilustra a Figura 3.

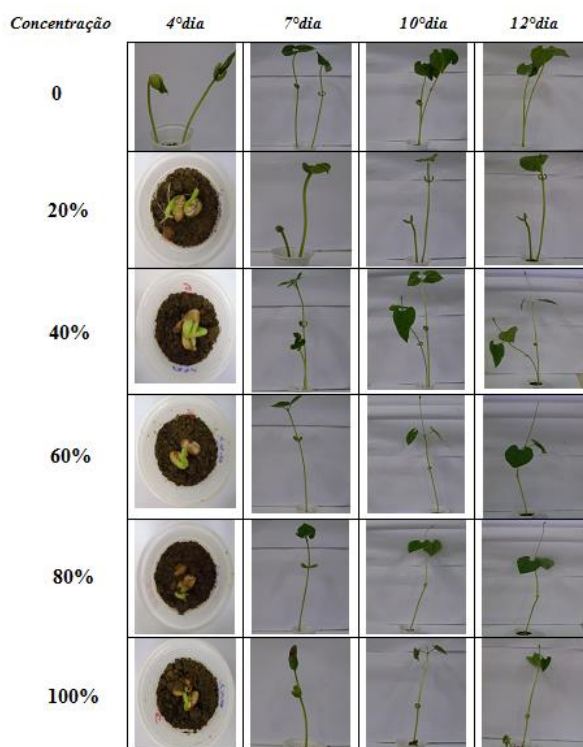


Figura 3: Crescimento dos pés de feijão ao longo do tempo.

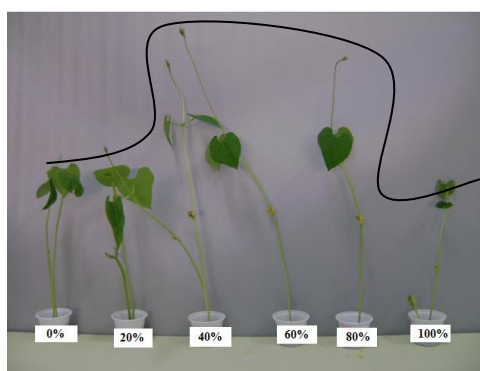


Figura 4: Pés de feijão ao final do teste, começando-se do branco (esquerda) à concentração sem diluição do biofertilizante (direita).

A tendência de crescimento durante a germinação decai quando há pouco ou muito biofertilizante (Figura 4). Isto enfatiza o ajuste da concentração do biofertilizante e o controle de parâmetros para ajudar a aumentar a eficiência de crescimento. Percebeu-se, nas concentrações de 40 e 60%, que ao longo do tempo houve germinação, desenvolvimento do gancho, do

primeiro par de folhas e do primeiro trifólio de forma mais eficiente e com nível de coloração e sustentabilidade mais adequado.

Dalri *et al.* [8] estudaram o cultivo de alface utilizando vinhaça na adubação e perceberam que ela fornecia todos os nutrientes necessários ao crescimento da cultura. Barros *et al.* [21], utilizando um biossólido proveniente de tratamento anaeróbio em reator UASB, observaram o aumento dos macronutrientes nas partes aéreas e na quantidade de matéria seca nas plantas de milho. Ueno *et al.* [6] também verificaram aumento dos nutrientes NPK na parte aérea de plantas de alface adubadas com vinhaça biodigerida, onde a planta testemunha (não adubada) se desenvolveu normalmente, com formação de suas partes, mas com menores índices em relação às outras.

4. CONCLUSÃO

O processo de biodigestão gerou um biofertilizante com baixa DQO (redução 66,7%), menor teor de sólidos totais (redução de 46%) e incremento nos teores de nitrogênio e fósforo total, o que é importante para o processo de fertilização, reduzindo o uso de produtos químicos. A fase acidogênica durou os sete primeiros dias e a DQO a partir do 30º dia não caiu significativamente. Logo, um TRH de 70 dias para a vinhaça em de presença esterco bovino úmido é elevado e desnecessário. Os pés de feijão cresceram em todas as concentrações, mas apresentaram maior desenvolvimento foliar e crescimento nas concentrações do biofertilizante entre 40 e 60%.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Usina Cachoeira pela vinhaça cedida e ao CNPq pela bolsa concedida.

-
1. Granato EF. Geração de energia através de biodigestão anaeróbica da vinhaça [Dissertação de Mestrado]. Bauru: Universidade Estadual Paulista; 2003.
 2. Chernicaró CLA. Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG); 1997.
 3. Gaspar RMB. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR [Dissertação de Mestrado]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2003. 106 p.
 4. Araújo EN. Rendimento do pimentão (*Capsicum annuum* L.) adubado com esterco bovino e biofertilizante [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal da Paraíba; 2005.
 5. EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja: Rotação de Culturas. Disponível em: < <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/rotacao.htm> > Acessado em 28/04/2013 às 20:30.
 6. Ueno CRJ, Costa ACS, Gimenes ML, Zanin GM. Cultivo de alface com vinhaça submetida a biodigestão. VIII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar. UNICESUMAR. Maringá; 2013.
 7. Previtali NR. Uso de vinhaça para fertirrigação [Trabalho de Conclusão de Curso]. Araçatuba: Faculdade de Tecnologia de Araçatuba (FATEC); 2011. 60 p.
 8. Dalri AB, Carvalho Neto OF, Mazzone F, Faria RT, Palaretti LF. Fertirrigação com vinhaça concentrada no desenvolvimento da alface. II INOVAGRI International Meeting. Fortaleza; 2014.
 9. Cruz LFLS, Duarte CG, Malheiros TF, Pires EC. Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça: fertirrigação, concentração e biodigestão. Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online). 2013; 29:111-127.
 10. Diesel R, Miranda CR, Perdomo CC. Bipers: Coletâneas de tecnologias sobre dejetos suínos. EMBRAPA-Aves e Suínos e EMATER/RS; 2002.
 11. American Public Health Association (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. Washington, D.C.; 1995. 1155p
 12. Oliver APM, Neto AAS, Quadros DG, Valladares RE. Manual de treinamento em biodigestão. Instituto Internacional Winrock Brasil; 2008.

13. Quadros DG, Oliver APM, Regis U, Valladares RE. Produção de biogás e caracterização do biofertilizante usando dejetos de caprinos e ovinos em biodigestor de PVC flexível. Congresso Internacional de Bioenergia. Curitiba; 2009.
14. Orrico Junior MAP. Biodigestão anaeróbica e compostagem de dejetos suínos, com e sem separação de sólidos [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Universidade Estadual Paulista; 2007.
15. Amaral CMC, Amaral LA, Lucas Júnior J, Nascimento AA, Ferreira DS, Machado MRF. Biodigestão anaeróbia de dejetos bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. *Ciência Rural*. 2004; 34(6):1897-1902.
16. Souza CF, Campos JA, Santos CR, Bressan WS, Mogami CA. Produção volumétrica de metano: dejetos de suínos. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*. 2008; 32(1):219-224.
17. Prado MAC, Campos CMM, Silva JF. Estudo da concentração de metano no biogás produzido a partir das águas residuárias de café. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*. 2010; 34(2): 475-484.
18. Von Sperling M. Introdução a qualidade das águas e tratamento de esgoto. Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte; 2005.
19. Von Sperling M, Van Haandel AC, Jordão EP, Campos JR, Cybis LF, Aissa MM, Sobrinho PA. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbicos: CAP. 5 – Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbicos por lodos ativados. Coordenação: Chernicharo, C. A. L. PROSAB, Belo Horizonte; 2001.
20. Silva CO, Cezar VPS, Santos MB, Santos AS. Biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovinocaprino, manipueira e biofertilizante. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã*. 2013; 4(1).
21. Silva HW. A tecnologia da produção de biogás na produção de biogás gerado por dejetos suínos. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*. 2013; 3(1): 56-60.
22. Barros IT, Andreoli CV, Souza Junior IG, Costa ACS. Avaliação agronômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2011; 15(6):630-638.