

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS E GLICERINA RESIDUAL

THE USE OF RESIDUAL GLYCERIN IN THE CODIGESTION OF ORGANIC RESIDUES FROM ANAEROBIC BIODIGESTION

Derovil Antonio dos Santos Filho¹, Laís Roberta Galdino de Oliveira², Waldir Nagel Schirmer³, Maurício Alves da Motta Sobrinho⁴, José Fernando Thomé Jucá⁵, Talita Lucena de Vasconcelos⁶

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil – derovilsantos@gmail.com

^{2, 3, 4, 5, 6} Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil – laisgaldino@gmail.com, wanusch@yahoo.com.br, labmati@gmail.com, jucah@ufpe.br & lucena.tali@gmail.com

RESUMO

A produção de energia renovável a partir da biodegradação de resíduos orgânicos, como dejetos animais, lodo de estação de tratamento de esgoto, frutas e vegetais e subprodutos da produção de biodiesel, são de grande importância para a sustentabilidade ambiental e gestão ambiental destes resíduos. Nesse sentido, a digestão anaeróbia é uma alternativa para o tratamento desses materiais, bem como para a geração de biogás e, portanto, energia. Neste contexto, o presente trabalho visou determinar o potencial de produção de biogás a partir da codigestão de Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) inoculados com resíduo agrícola (Rúmen Bovino – RB) e lodo de estação de tratamento de efluentes (LD), com e sem adição de Glicerina (GL). Após 80 dias de incubação em frascos do tipo BMP (*Biochemical Methane Potential*) sob condições mesofílicas, o tratamento RSO+RB+LD foi o que apresentou a maior média de volume de biogás acumulado (258 NmL), seguida pelo tratamento RSO+LD (227 NmL) (todos sem adição de glicerina); RSO+RB+LD+GL (196 NmL) e, por fim, RSO+LD+GL (166 NmL) (estes dois últimos tratamentos, portanto, com adição de glicerina). Os tratamentos sem adição de glicerina apresentaram, portanto, uma geração de biogás média 35% superior aos seus tratamentos com glicerina.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Efeito estufa, Energias Renováveis, Potencial Bioquímico de Metano, Tratamento de resíduos.

ABSTRACT

The production of renewable energy from the biodegradation of organic wastes, such as animal waste, sludge from sewage treatment plant, fruits and vegetables and by-products from the production of biodiesel, are very has an important role in the correct environmental management of these wastes. In this sense, anaerobic digestion is an alternative for the treatment of these materials, as well as for the generation of biogas and, at the end, energy. In this context, the present work focused on determining the potential of biogas production from the codigestion of Organic Solid Wastes (OSW) inoculated with an agricultural residue (Bovine Rumen - BR) and sludge from sewage treatment plant (SS), with and without addition of glycerin (GL). After 80 days of incubation in BMP (*Biochemical Methane Potential*) bottles under mesophilic conditions, the OSW+BR+SS treatment presented the highest average volume of accumulated biogas (258 NmL), followed by OSW+SS (227 NmL) (all of them without addition of glycerin); OSW+BR+GL (196 NmL) and, at last, OSW+SS+GL (166 NmL) (these two last ones with glycerin). Treatments without glycerin addition showed an average biogas generation of 35% higher, compared to treatments with glycerin.

KEYWORDS: Biochemical methane potential, Biogas, Greenhouse effect, Renewable energies, Waste treatment.

INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia alternativas às fontes de energia convencionais (baseada principalmente em combustíveis de origem fóssil) é objeto de pesquisas recorrentes. Fatores como os impactos ambientais e os elevados custos associados a essas fontes impulsionam a diversificação da matriz energética mundial (PENTEADO et al., 2018). Nesse contexto, a biodigestão de resíduos sólidos orgânicos aparece como fonte promissora de energia, uma vez que, no processo de digestão anaeróbica, a biomassa é convertida em biogás rico em metano, amplamente utilizado como fonte de energia (WANG et al., 2012).

O tratamento anaeróbio de dois ou mais substratos simultaneamente (codigestão) apresenta vantagens sobre a digestão de resíduos individuais (monodigestão) (MATA-ALVAREZ et al., 2014) como diluição de componentes tóxicos ou mesmo a adição de nutrientes ao meio. Entretanto, para uma codigestão eficiente, é imprescindível determinar as melhores condições de mistura, de modo a maximizar a produção de metano e evitar a inibição do processo (ÁLVAREZ et al., 2010). Segundo Wang et al. (2012), a codigestão de vários resíduos pode proporcionar o incremento de nutrientes, a diversidade bacteriana e umidade necessárias ao meio, melhorando o processo de digestão.

Substratos comumente utilizados em biodigestores anaeróbios são lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE), resíduos da indústria de carne e peixe, dejeito animal, resíduos agrícolas, fração orgânica de resíduos domésticos, etc. (ESPÓSITO et al., 2012).

A utilização da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos e lodo de ETE como substratos (geralmente codigeridos) visando à produção de biogás vem sendo comumente reportada na literatura (ALVES, 2008; MACIEL, 2009; CROVADOR, 2014; SCHIRMER et al., 2014). Fatores como teor de nutrientes, umidade, disponibilidade de bactérias, teor de matéria orgânica, são algumas das propriedades inerentes a esses substratos e que devem ser consideradas no seu processo de biodigestão.

No âmbito dos resíduos agropecuários com potencial de biodegradação, merece destaque o rúmen bovino. O líquido ruminal bovino é um dos resíduos gerados em matadouros frigoríficos, que requer atenção especial no que se refere ao seu gerenciamento, elevado teor de umidade, bem como dificuldade de destinação final (ROSA, 2009).

A glicerina residual, subproduto de processos como a

produção de biodiesel, também é passível de biodegradação e vem sendo utilizada, em pequenas concentrações, no processo de digestão anaeróbia com o intuito de otimizar a geração de biogás. Segundo a ANP (2017), a produção de biodiesel no Brasil, em 2016, foi de 3,80 milhões de metros cúbicos. O resíduo aí gerado pode entrar novamente na cadeia produtiva potencializando a produção de biogás nos processos de biodigestão anaeróbia.

Minho et al. (2012) estudaram o efeito da glicerina (6% em relação ao volume das amostras) na produção de biogás a partir da sua digestão anaeróbia (em frascos de 1 L mantidos em incubadora bacteriológica a 35°C) com lodo de ETE de resíduos agroindustriais e dejetos de aves poedeiras, obtendo uma produção de biogás de cerca de três vezes maior em relação à codigestão sem adição de glicerina, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 44 dias. Porém, Fountoulakis et al. (2010) indicam que valores superiores a 4% de glicerina podem apresentar sobrecarga e ser um fator limitante na biodigestão em condições mesofílicas para lodo de esgoto.

Muitos pesquisadores têm empregado o teste BMP (*biochemical methane potential*), ou similar, de modo a avaliar o potencial de geração de biogás (bem como das melhores condições de biodigestão) a partir de uma fração de resíduo em pequena escala (HANSEN et al., 2004; KELLY et al., 2006; ALVES, 2008; MACIEL, 2009; LABATUT et al., 2011; HOLANDA et al., 2013; CROVADOR, 2014; SCHIRMER et al., 2014; ALVES, 2016). Simplicidade, baixo custo e rápida resposta são algumas das vantagens reportadas em relação ao método BMP. Ainda, propriedades como sólidos voláteis, umidade, alcalinidade, pH, demanda química de oxigênio (DQO), dentre outros, são alguns dos parâmetros que complementam o teste BMP e que, portanto, devem ser monitorados no processo de biodigestão.

Neste contexto, o presente estudo visou verificar a produção de biogás por meio da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos do Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco (CEASA-PE) com adição de glicerina (GL), utilizando como inóculos o rúmen bovino (RB) e o lodo de esgoto proveniente de reator UASB (LD), separadamente e de sua mistura.

MATERIAL E MÉTODOS

O resíduo sólido orgânico (RSO) utilizado como substrato nesse estudo foi coletado no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco (CEASA-PE): frutas, verduras e legumes impróprios para consumo

humano. Após a coleta do RSO, as amostras foram homogeneizadas por quarteamento seguindo a NBR 10007 (ABNT, 2004); na sequência, foi obtido o extrato solubilizado do resíduo, seguindo a metodologia utilizada por Lange et al. (2002), visando à determinação dos parâmetros pH e demanda química de oxigênio (DQO). O método para determinação da DQO foi o titulométrico (digestão com $K_2Cr_2O_7$), de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 5220c.

Como inóculos, foram utilizados o líquido ruminal bovino (RB), coletado no Abatedouro Regional da Paudalho - PE, e o lodo de reator UASB que trata esgoto doméstico (LD), proveniente da ETE "Dancing Days", de Recife (PE).

Todos os resíduos supracitados foram acondicionados em sacos e recipientes plásticos, sendo o RSO e o LD mantidos a uma temperatura aproximada de 4°C, como recomendado pela técnica de coleta de amostras da CETESB/ANA (2011). Em seguida, foram realizadas as análises de pH e umidade para as amostras *in natura* dos inóculos.

Para a determinação da umidade e preparação de amostras para ensaios em base seca (inclusive o ensaio BMP), parte do RSO e dos inóculos foram submetidos à secagem em estufa a uma temperatura de 105°C até a obtenção de massa constante, conforme a metodologia descrita por WHO (1979). Posteriormente, o RSO seco foi processado em um moinho de facas e os inóculos foram destorreados com o auxílio de um almofariz e pistilo de porcelana, para a realização das seguintes análises: determinação de sólidos voláteis (SV), de acordo com a NBR 13999 (ABNT, 2003), e quantificação do teor de lignina com base nos métodos Goering e Van Soest (1970). A dose de glicerina utilizada nos experimentos corresponde a 5% do volume útil do biorreatore. A glicerina residual utilizada era proveniente da Usina Piloto de Biodiesel de Caetés (PE), tendo como característica um pH de 8,5. A dosagem do agente tamponante bicarbonato de sódio (BC), foi determinada seguindo a proporção de 0,2 g HCO_3^- g DQO^{-1} de modo a melhorar o desempenho do reator mesofílico (DOLL e FORESTI, 2010).

A avaliação do potencial de produção do biogás foi realizada em ensaios do tipo BMP (Biochemical Methane Potential ou Potencial Bioquímico de Metano). O experimento é composto por frascos de borossilicato de 250 mL, com tampa rosqueada e com um manômetro acoplado de 1 Kgf cm $^{-2}$, com escala de 0,02 e 0,01 Kgf cm $^{-2}$. Os frascos foram preenchidos de acordo com a configuração apresentada na Tabela 1, em triplicata.

Tabela 1. Configuração dos tratamentos avaliados na biodigestão.

BMP	RSO (g)	GL (mL)	LD (mL)	RB (mL)	BC (g)
RSO+LD	5	-	50	-	1,68
LD+RSO+GL	5	2,5	50	-	1,68
RSO+RB+LD	5	-	25	25	1,68
RB+LD+RSO+GL	5	2,5	25	25	1,68

Após o preenchimento dos biodigestores, os mesmos foram recirculados com gás nitrogênio (N_2), de modo a conferir anaerobiose ao meio. Em seguida, os biorreatores foram envolvidos com papel alumínio, e acondicionados em estufa (Figura 1) a uma temperatura de 37°C (condição mesofílica), por um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 80 dias.



Figura 1. Biodigestores do ensaio BMP acondicionados em estufa.

O volume de biogás produzido em cada tratamento foi determinado a partir das leituras diárias da pressão do manômetro de cada frasco, bem como pressão atmosférica e temperatura de incubação. Os valores de pressão foram convertidos em volume de biogás nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) (LABATUT et al., 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização inicial dos parâmetros, que influenciam o processo de biodegradação do substrato (RSO) e dos inóculos utilizados é apresentada na Tabela 2. Segundo Andreoli et al (2003), um elevado teor de umidade do resíduo (60-90% em massa) pode contribuir no processo de geração de biogás. Pela Tabela 2, vê-se que todos os resíduos apresentam teor de umidade inicial

já próximos a 90% o que, portanto, é favorável ao processo de biodigestão.

Tabela 2. Caracterização físico-química do substrato e dos inóculos analisados.

Parâmetro	RSO	RB	LD
Umidade (%)	89,22	96,00	90,63
pH	4,73	7,13	6,85
Demandas bioquímicas de oxigênio DQO (gL ⁻¹)	168,01	-	-
Sólidos voláteis - SV(%)	98,03	80,88	45,05
Lignina (%)	21,65	26,91	56,59

De acordo com Deublein e Steinhauser (2008), o intervalo de pH favorável para a geração de metano é entre 6,7 e 7,5. Os valores determinados para os inóculos estavam próximos à neutralidade (Tabela 2). Entretanto, as amostras RSO tiveram valores médios de pH inferiores a 5,0, o que muito provavelmente pode ter sido influenciado pela natureza (origem) desses resíduos (frutas, verduras, etc.), muitos com caráter ácido, ou por estarem em estado inicial de decomposição. Esse aspecto ratifica a necessidade de se misturar o substrato com inóculo, de modo a atingir um valor de pH próximo à neutralidade, de modo a se chegar a uma mistura final (pré-digestão) o mais próximo possível da neutralidade.

Em relação ao teor de sólidos voláteis (SV), o RSO é o que apresenta valores mais elevados. Os inóculos aqui utilizados já passaram por um processo de degradação biológica realizada pelo sistema digestivo dos animais (RB) e pelo sistema tratamento de esgotos (LD) onde, portanto, grande parte da matéria orgânica já foi consumida.

Quanto aos teores lignina, observa-se uma variação de 21,65 a 56,59%, sendo a maior porcentagem correspondente ao lodo anaeróbico de esgoto doméstico (reator UASB), visto que o mesmo já passou por um tratamento biológico, onde os compostos facilmente degradáveis foram consumidos, restando apenas, os médio e dificilmente degradáveis, como a lignina e os ácidos húmicos e fúlvicos. Semelhantemente, Firmo (2013) obteve um teor de lignina de 22,98 e 21,69% para o resíduo orgânico e resíduo de comida, respectivamente.

A Tabela 3 apresenta o resultado da caracterização da mistura dos tratamentos antes e depois da biodigestão. Pela Tabela 3, observa-se um leve incremento nos teores de umidade após a biodigestão em todos os tratamentos avaliados, provavelmente atribuído tanto à água formada durante a degradação da matéria orgânica (via hidrogenotrófica, conforme reportado por Silva, 2009)

quanto à redução de sólidos totais no final do processo de digestão.

Tabela 3. Caracterização físico-química das misturas antes (A) e depois (D) do processo de biodigestão.

Parâmetro	RSO+LD	RSO+LD+GL	RSO+LD+RB	RSO+LD+GL
	A/D	A/D	A/D	A/D
Umidade (%)	84,4185,73	81,75 82,98	85,95 86,31	84,50 85,40
pH	7,22 7,60	7,41 6,80	7,32 7,34	7,65 6,25
Sólidos voláteis - SV(%)	67,7656,70	59,75 56,94	66,70 61,20	70,50 66,21

A: antes / D: depois

Tipicamente, nas etapas iniciais da biodigestão, ocorre uma diminuição significativa no pH do meio, dada a formação de ácidos graxos voláteis (AGV) durante o processo. Entretanto, nas etapas subsequentes da biodigestão há uma neutralização do sistema e o pH tende a se neutralizar. Pelos valores de pH verificados antes e após os 80 dias de biodigestão (Tabela 3), constata-se que a neutralização do pH do meio foi mantida, ocorrendo uma leve queda nos tratamentos com glicerina.

Os próprios ácidos graxos presentes na glicerina residual (presentes como resultado das etapas de produção do biodiesel) podem ter contribuído nesse comportamento. Holm-Nielsen et al. (2008) observam que a concentração de AGV no sistema pode aumentar com a concentração de glicerina no meio, podendo ocasionar sobrecarga do sistema, implicando inclusive em inibição da etapa de metanogênese. Por fim, em termos de SV, como já era esperado, observou-se uma redução em todos os tratamentos devido à conversão de parte da carga orgânica em biogás.

A produção acumulada de biogás para os tratamentos investigados é apresentada na Figura 2. Nota-se que a configuração RSO+RB+LD foi a que apresentou a maior média de volume acumulado de biogás (258 NmL), seguida pelos tratamentos RSO+LD (227 NmL); RSO+RB+LD+GL (196 NmL) e RSO+LD+GL (166 NmL). Expressando esses mesmos valores em termos de volume de biogás gerado por massa de substrato seco, tem-se 51,6 NmL/g_{ss} para o tratamento RSO+RB+LD; 45,4 NmL/g_{ss} para o tratamento RSO+LD; 39,2 NmL/g_{ss} para o tratamento RSO+RB+LD+GL e; 33,2 NmL/g_{ss} para o tratamento RSO+LD+GL.

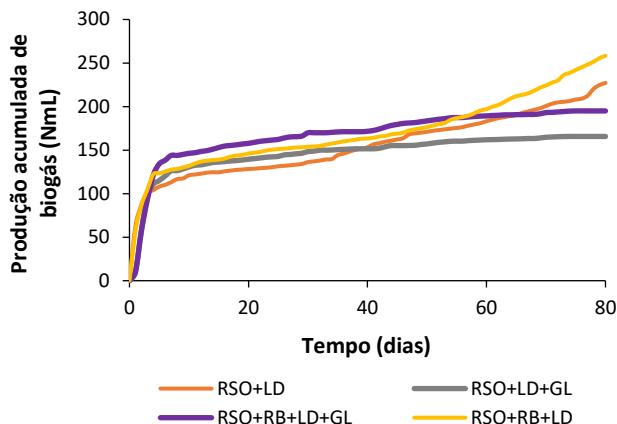


Figura 2. Produção acumulada de biogás dos tratamentos analisados.

A Figura 2 mostra que os tratamentos sem glicerina tiveram uma produção maior de biogás para o período estudado, comparativamente às amostras com adição de 5% de glicerina. Vê-se, ainda, uma tendência significativa de aumento na geração de biogás das amostras sem glicerina mesmo após os 80 dias de biodigestão (pela ascendência das curvas de geração de biogás na reta final do experimento). As amostras com glicerina, por sua vez, tenderam à estabilização da geração de biogás a partir das últimas semanas de experimento.

Verifica-se, portanto, que a concentração de 5% de glicerina residual não potencializou a produção de metano, mas, do contrário, parece ter atuado como inibidor do processo de biodigestão, o que vem de encontro ao exposto por Holm-Nielsen et al (2008), no que refere à inibição do processo pela glicerina. A presença de impurezas na glicerina residual (álcool, ácidos graxos livres, ésteres metílicos/etílicos, mono e diacilgliceróis, etc.) (SEQUINEL, 2013) pode estar relacionada à sobrecarga orgânica do sistema desde o início do processo de biodigestão.

A própria presença de ácidos graxos livres pode ter interferido no pH do sistema, “inibindo” o processo de biodigestão. Portanto, recomenda-se o estudo de teores de glicerina inferiores a 5%, de modo a verificar a atuação da glicerina no processo de digestão, produção de biogás e até teores de metano. De fato, Fountoulakis et al. (2010) indicam que valores superiores a 4% de glicerina podem apresentar sobrecarga e ser um fator limitante na biodigestão em condições mesofílicas para lodo de esgoto (presente em todos os tratamentos deste estudo).

Alves (2016) também avaliou, em escala BMP, a adição de glicerol (1 e 3% do volume total da amostra) na codigestão de resíduos alimentares e lodo primário de ETE, e obteve uma produção acumulada de biogás de

224,05 NmL em 20 dias (reatores preenchidos com 150 mL de amostra), valor inferior (cerca de 1,5 vezes) ao obtido nesse estudo, considerando a mesma quantidade de resíduo biodigerido e o mesmo inóculo (lodo de esgoto doméstico - reator UASB).

Robra et al. (2006) alcançaram uma produção acumulada de biogás de aproximadamente 25.000 mL de biogás, a partir da biodigestão anaeróbia de estrume de gado e 5% de glicerina, sendo os reatores alimentados a cada 10 dias durante um TDH de 20 dias. Tal diferença pode ser justificada pela elevada carga orgânica do esterco de gado, e consequentemente, grande potencial de produção de biogás, além das alimentações sequenciadas.

Vale ressaltar que, o resultado com um maior percentual de glicerina (fonte de carbono) pode ser encontrado quando é utilizado juntamente com substrato que possuem uma baixa carga orgânica, como é o caso do lodo de esgoto, diferentemente de quando é usado com um resíduo sólido orgânico, que possui uma elevada carga, e com isso, necessitando de um menor teor de glicerina.

De um modo geral, a comparação das curvas de geração de metano (reportadas na literatura) em testes BMP pode ser tarefa bastante complicada, dadas as diferentes condições de cada experimento, muitas vezes com resultados expressos em unidades variadas (ANGELIDAKI et al., 2009). Dependendo das condições do teste, como o tipo de resíduo, temperatura, e outros parâmetros, a própria estabilização da geração de biogás pode ser atingida em diferentes períodos.

CONCLUSÕES

Em síntese, o ensaio BMP dos tratamentos avaliados de fato apresentou-se bastante viável (de baixo custo, simples e rápido) na determinação do potencial de produção de biogás destes substratos.

No que se refere à geração de biogás, já nos primeiros dias de experimento (e para todos os tratamentos avaliados), o volume de biogás gerado foi bastante significativo. Embora o padrão das curvas de geração (volume acumulado) tenha sido bastante similar nas primeiras oito semanas de biodigestão, observou-se claramente uma maior tendência de geração nos tratamentos sem glicerina após esse período, o que se estendeu até o final do experimento (80 dias).

Essa menor geração de biogás nos tratamentos com glicerina pode ter evidenciado, por exemplo, um efeito de inibição deste substrato sobre o processo de biodigestão

em decorrência da sobrecarga orgânica, pelo menos no que se refere ao percentual utilizado (5% em volume). Assim, teores inferiores a este podem ser avaliados para os mesmos substratos e mantendo-se as mesmas condições de biodigestão.

Uma vez determinadas as melhores condições do processo para os substratos aqui avaliados, a utilização dos resíduos sólidos e semi-sólidos analisados nesse estudo pode contribuir para uma gestão ambiental eficiente dos resíduos de centrais de abastecimento, de ETEs, da indústria frigorífica e de subprodutos da produção de biodiesel, possibilitando a transformação de um passivo ambiental em substratos com potencial de geração de energia.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pelo apoio financeiro, e o Centro de abastecimento logístico (CEASA/PE), pelo fornecimento dos resíduos analisados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13999: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira – determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10007: Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ÁLVAREZ, J.A. et al. A methodology for optimising feed composition for anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes. *Bioresouce Technology*, v.101, n.4, p.1153-1158, 2010.

ALVES, I.R.F.S. Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. 2008. 118p. (Dissertação de Mestrado).

ALVES, I.R.F.S. Avaliação da codigestão na produção de biogás. 2016. 153p. (Tese de Doutorado).

ANDREOLI, C. V. et al. Secagem e higienização de lodos com aproveitamento de biogás. In: CASSINI, S. T. (Coord.). *Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás*. Rio de Janeiro: ABES, Rima, p.121-165, 2003.

ANGELIDAKI, I. et al. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Science & Technology*, v.59, n.5, p.927-934, 2009.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico 2017 - **Dados do desempenho das indústrias do petróleo, do gás natural e dos biocombustíveis e do sistema de abastecimento nacionais no período 2007-2016.** 2017. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017#Se%C3%A7%C3%A3o%202>

CETESB/ANA – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo/Agência Nacional de Águas. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras - água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CROVADOR. M.I.C. *Potencial de geração de biogás a partir da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos*. 2014. 103p. (Dissertação de Mestrado).

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.

DOLL, M.M.R.; FORESTI, E. Efeito do bicarbonato de sódio no tratamento de vinhaca em AnSBBR operado a 55 e 35°C. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.15, n.3, p.275-282, 2010.

ESPOSITO, G. et al. Anaerobic co-digestion of organic wastes. *Rev. Environmental Science Biotechnology*, v.11, n.4, p.325-341, 2012.

FIRMO, A.L.B. *Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos*. 2013. 268p. (Tese de Doutorado).

FOUNTOULAKIS, M.S. et al. Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production. *Waste Management*, v.30, p.1849-1853, 2010.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agriculture Handbook*, n.379, 1970.

HANSEN, T.L. et al. Method for determination of methane potentials of solid organic waste. *Waste Management*, v.24, n.4, p.393-400, 2004.

HOLANDA, S.H.B. et al. Avaliação da influência do glicerol sobre a geração de biogás de resíduos sólidos urbanos através do ensaio BMP. *27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Goiânia, 2013.

HOLM-NIELSEN, J.B. et al. On-line near infrared monitoring of glycerol-boosted anaerobic digestion processes: evaluation of process analytical technologies. *Biotechnology and Bioengineering*, v.99, n.2, p.302-313, 2008.

KELLY, R.J. et al. Relationships between analytical methods utilized as tools in the evaluation of landfill waste stability. *Waste Management*, v.26, n.12, p.1349-1356, 2006.

LABATUT, R.A. et al. Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates. *Bioresouce Technology*, v.102, n.3, p.2255-2264, 2011.

LANGE, L.C. et al. Estudo comparativo de metodologias empregadas para a análise de resíduos sólidos urbanos. *Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental*, Cancun, 2002.

MACIEL, F.J. *Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos*. 2009. 333p. (Tese de Doutorado).

MATA-ÁLVAREZ, J. 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.

MINHO, C.V. et al. Uso da glicerina residual na geração de biogás

a partir do lodo de estação de tratamento de efluentes e dejetos de aves poedeiras. **Revista Engenharia Ambiental**, v.9, n.3, p.41-50, 2012.

PENTEADO, M.C. et al. Análise do potencial de geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia da vinhaça e bagaço de cana. **Biofix Scientific Journal**, v.3, n.1, p.26-33, 2018.

ROBRA, S. et al. Avaliação da glicerina resultante da produção de biodiesel como suplemento na geração de biogás. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, Águas de Lindóia, 2006.

ROSA, A.P. **Avaliação da viabilidade técnica e ambiental do uso do conteúdo ruminal bovino como biocombustível**. 2009. 77p. (Dissertação de Mestrado).

SCHIRMER, W.N. et al. 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.

SEQUINEL, R. **Caracterização físico-química da glicerina proveniente de usinas de biodiesel e determinação de metanol residual por CG com amostragem por Headspace estático**. 2013. 103p. (Tese de doutorado).

SILVA, W.R. **Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais**. 2009. 159p. (Tese de Doutorado).

WANG, X.J. et al. Potential for biogas production from anaerobic co-digestion of dairy and chicken manure with corn stalks. **Advanced Materials Research**, v.347-353, p.2484-2492, 2012.

WHO – International Reference Centre for Wastes Disposal, CH 8600. **Methods of analysis of sewage sludge, solid wastes and compost**. Dübendorf, 1978.