

A AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE METANO NA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS ÔRGÂNICOS E RESÍDUOS DE JARDINAGEM

Carina Malinowsky*, Letícia Rech Debiasi, Elisa Broering, Jonathan Alessandro da Rosa Silva, Armando Borges de Castilhos Junior

* Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - carimalinowsky@gmail.com

RESUMO

A geração, o tratamento e a destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) configuram-se como alguns dos principais problemas do Brasil. No País, em 2016, a geração total de RSU foi de 78,3 milhões de toneladas. Desse quantitativo, aproximadamente 50% corresponde aos resíduos sólidos orgânicos (RSO). Uma opção para tratamento do RSU é a utilização de reatores anaeróbios. A finalidade dos biodigestores é criar um ambiente ideal para o desenvolvimento da cultura microbiana para que a fração orgânica seja degradada. Com o objetivo de beneficiar a produção de biogás, foi realizado o tratamento anaeróbio dos resíduos orgânicos (RSO) utilizando a co-digestão com resíduos de jardinagem (RJ). A atividade metanogênica específica (AME) foi avaliada, verificando as diferenças na relação inoculo: substrato (1:3 e 1:5) e na porcentagem de cossustrato adicionado (0, 5, 10 e 20%). O ensaio AME é uma importante ferramenta para os estudos de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos e eficiência de produção de metano. A relação inoculo: substrato 1:3 se mostrou mais eficiente para o tratamento de RSO. A adição de 20% de RJ ao RSO beneficiou a produção de biogás e AME.

PALAVRAS-CHAVE: Digestão anaeróbia, metano, resíduo sólido orgânico, resíduo de jardinagem.

ABSTRACT

The generation, treatment and disposal of urban solid waste (MSW) are some of the main problems in Brazil. In Brazil, in 2016, the total MSW generation was 78.3 million tons. Of this amount, approximately 50% corresponds to organic solid waste (RSO). An option to treat MSW is the use of anaerobic reactors. The purpose of the biodigester is to create an ideal environment for the development of the microbial culture so that the organic fraction is degraded. In order to benefit the production of biogas, the anaerobic treatment of organic wastes (OW) was carried out using the co-digestion with gardening wastes (GW). The biomethane potential (BMP) was evaluated, verifying the differences in inoculum: substrate ratio (1: 3 and 1: 5) and the percentage of cossustrate added (0, 5, 10 and 20%). The BMP assay is an important tool for studies of anaerobic digestion of organic wastes and methane production efficiency. The ratio inoculum: substrate 1: 3 was shown to be more efficient for the treatment of RSO. The addition of 20% of RJ to RSO benefited the production of biogas and AME.xxxxx

KEY WORDS: Anaerobic digestion, methane, organic solid waste, waste of gardening.

INTRODUÇÃO

O Brasil tem demonstrado um lento progresso no setor do saneamento, pois, além da falta de planejamento urbano, o país também sofre com os entraves políticos e econômicos. A geração, o tratamento e a destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) configuram-se como alguns dos principais problemas, o que impacta negativamente o País ambiental e socialmente. No Brasil, em 2016, a geração total de RSU foi de 78,3 milhões de toneladas (ABRELPE, 2016). Desse quantitativo, aproximadamente 50% corresponde aos resíduos sólidos orgânicos (RSO) (IPEA, 2012).

Com a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305/2010), os municípios passam a ter a obrigação de encaminhar ao aterro sanitário somente os resíduos que não apresentam nenhuma possibilidade de tratamento ou recuperação (rejeitos). Com o objetivo de reduzir a quantidade de resíduos encaminhados aos aterros e criar alternativas para o tratamento e aproveitamento energético dos resíduos sólidos orgânicos, os municípios também devem estabelecer metas de redução e reutilização, além de instituir a coleta seletiva e a reciclagem.

Neste cenário, a digestão anaeróbia de RSO como forma de geração de energia renovável vem se destacando no cenário nacional, pois associa o adequado tratamento dos RSO com a mitigação dos impactos ambientais acarretados pelo descarte irregular de RSU, além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa e diversificar a matriz energética (EPE, 2013).

A tecnologia da digestão anaeróbia permite converter resíduos com alta carga orgânica em produtos de maior valor agregado, por meio da ação consorciada de microrganismos (acidogênicos e metanogênicos) (DINCER, 2012), sendo que cada grupo de bactérias tem sua função dentro do complexo processo de digestão. Desta maneira, a matéria orgânica é convertida em dois importantes produtos finais: biocomposto e biogás, (APPELS et al., 2011).

A digestão anaeróbia é uma realidade para o tratamento de resíduos orgânicos, porém as características de alguns materiais dificultam o bom funcionamento do reator. Assim, a co-digestão apresenta-se como uma opção para superar tais inconvenientes e melhorar a viabilidade econômica do reator (MATA-ALVAREZ et al., 2014). A co-digestão é definida como a mistura de diferentes co-substratos, o que melhora o rendimento da digestão anaeróbia e estabelece o equilíbrio nutricional. A co-digestão pode ocorrer pela diluição do RSU, pela mistura com outro substrato ou ambos (MATA-ALVAREZ et al., 2000).

A determinação da proporção ideal entre os co-substratos beneficia as características de funcionamento do biodigestor (BROW e LI, 2013), melhora a relação C/N, diminui a concentração de nitrogênio (CUETOS et al., 2008) e resultam em maior rendimento de produção de biogás. Diversos estudos têm demonstrado o aumento na digestibilidade da biomassa e na produção de biogás com a co-digestão. Sosnowski et al. (2003) verificaram o aumento da produção de biogás ao adicionar RSU (fração orgânica) em biorreatores com lodo de esgoto. Igualmente, uma maior produção de biogás foi verificada por Hartmann e Ahring (2005) na co-digestão de RSU com estrume.

A digestão anaeróbia é um processo complexo e durante a partida dos reatores pode ocorrer desbalanceamento dos produtos formado. Assim, buscando alcançar uma digestão equilibrada, o uso de inóculo na partida dos reatores se apresenta como uma estratégia eficiente (MATA ALVAREZ, et al. 2000). O inóculo também tem a função de manter o equilíbrio do pH, acelerar a digestão e aumentar a produção de biogás (AGDAG e SPONZA, 2007; CARNEIRO, 2005; HARTMANN; AHRING, 2005). A proporção adequada de inóculo em relação ao substrato pode determinar o volume de biogás produzido, a remoção de DQO, nitrogênio e a degradação final do substrato (AMORIN, 2012, SANTOS, 2014).

OBJETIVOS

Avaliar a produção de metano a partir do teste de diversas proporções de co-digestão de resíduo orgânico e resíduos de jardinagem e diferentes relações de inóculo e substrato, testados em reatores anaeróbios de bancada por meio da aplicação do ensaio de atividade metanogênica específica (AME).

METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa está estruturada em 3 etapas:

- 1) Coleta e estabilização do inóculo;
- 2) Coleta, pré-tratamento, caracterização e armazenamento do substrato e do co-substrato;
- 3) Realização, em escala de bancada, de ensaio de atividade metanogênica específica com o objetivo de definir a melhor relação substrato: co-substrato e inóculo: substrato.

Inóculo

Como inóculo para realização dos testes AME, foi coletado 3 kg de dejetos bovinos da Fazenda experimental da Ressacada-UFSC localizado no bairro Tapera- Florianópolis, SC. O dejetos foi diluído com água, na relação 3:1. A mistura foi mantida a 35°C até a estabilização da produção do biogás.

Substrato

Substrato - O substrato utilizado nos ensaios é proveniente dos Restaurantes Universitários da UFSC, composto basicamente por restos de alimentos. O resíduo foi coletado e transportado até o Laboratório de Resíduos Sólidos (LARESO), do Departamento de Engenharia Ambiental- UFSC, onde passou pelo pré tratamento de trituração em triturador industrial de baixa rotação.

Cossustrato - Como cossustrato foram utilizados resíduos da jardinagem e poda dos canteiros da UFSC, coletados nos períodos de limpeza do campus, após coleta, eram armazenados em sacos plásticos e congelados, para então serem misturados ao material orgânico nos dias de coleta.

A preparação do substrato e cossustrato utilizados nos ensaios seguiram metodologias semelhantes. Logo após a coleta do RSO, foram realizadas análises pH, sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV). Após, esse material foi misturado e homogeneizado. A determinação dos teores de ST, STF e STV foi realizada de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 2540B (APHA, 2005). Na Tabela 1 são apresentados os valores de ST e STV do inóculo, substrato e cossustrato.

Tabela 1: características do inóculo, resíduo sólido orgânico e resíduo de jardinagem

	ST (g/g)	STV (g/g)	STV %
Inóculo	0,203	0,192	19,26
Substrato- RSO	0,412	0,356	35,64
Cossustrato - RJ	0,010	0,0085	0,085

Ensaio De Atividade Metanogênica Específica

Para a realização do ensaio AME foi utilizado o equipamento AMPTS II (Automatic Methane Potential Test System), que é um sistema de medições on-line de biogás produzido pela digestão anaeróbia de qualquer substrato biológico degradável em escala de laboratório.

O sistema AMPTS II (Figura 1) é composto por três unidades/etapas:

Na **primeira unidade (unidade de incubação da amostra)**, estão os frascos que contêm a amostra e o inóculo anaeróbio. Os frascos serão mantidos em banho-maria a uma temperatura desejada. Cada frasco possui um agitador rotativo e mangueiras de condução do biogás, sendo que os frascos são ligados em série. O biogás é então produzido continuamente e enviado para a **segunda unidade (unidade de fixação do CO₂)**, onde o biogás produzido em cada frasco da primeira unidade passa para um frasco individual contendo uma solução alcalina. Nessa solução, o CO₂ e H₂S são retidos pela interação química com NaOH, permitindo apenas a passagem do CH₄ para a unidade de monitoramento. O indicador de pH fenolftaleína é adicionado em cada frasco de solução, sendo possível controlar a saturação do NaOH por CO₂.

Na **terceira unidade (dispositivo de medição do volume de metano)** há um sistema de pás que levantam de acordo com o acúmulo de metano. O volume de CH₄ liberado da segunda unidade é medido utilizando um dispositivo de medição que funciona de acordo com o princípio do deslocamento e flutuabilidade das pás. Desta forma, é possível monitorar o fluxo de gás, sendo que um impulso digital é gerado à medida que determinado volume de gás passa através do dispositivo. O sistema está conectado a um computador contendo um *software*, no qual todos os dados gerados são armazenados e os resultados podem ser analisados.



Figura 1- Equipamento AMPTS II - Unidade de incubação; Unidade de fixação do CO₂; Unidade de medição de metano.

A AME é uma importante ferramenta para o controle operacional de reatores anaeróbios, podendo ser utilizado como um parâmetro de monitoramento da "eficiência" da população metanogênica presente em um reator biológico e estabelece a carga orgânica máxima que pode ser aplicada com minimização do risco de desbalanceamento do processo anaeróbio (FORESTI et al., 1999). O ensaio AME será conduzido por um período mínimo de 15 dias e finalizado quando ocorrer a estabilização da produção de CH₄ de todas as amostras testadas. Segundo Chen et al., (1995) e Silva (2013) o período de maior produção de biogás que em geral começa a estabilizar após 10 dias de incubação.

A metodologia utilizada para o ensaio AME segue recomendações feitas por Aquino et al., (2007):

- 1) determinação da concentração de sólidos voláteis das amostras;
- 2) introdução do volume pré-estabelecido de inóculo, de acordo com a concentração de STV e proporção inóculo: substrato;
- 3) introdução do volume pré-estabelecido de substrato+co-substrato, de acordo com a concentração de STV e proporção inóculo: substrato;
- 4) purga do oxigênio por 1 minuto com introdução de N₂ no interior de cada frasco;
- 5) incubação dos frascos a 35°C;
- 6) conexão dos frascos com o inóculo ao sistema;
- 7) monitoramento e arquivamento dos dados pelo software AMPTS II.

Os tratamentos seguiram recomendações de Chynoweth (1993), Mata-Alvarez (2003) e Amorim (2012). O seguinte delineamento foi adotado: 9 tratamentos, cada tratamento com três repetições. Os tratamentos estão representados na tabela 2:

Tabela 2 – Relações de substrato, co-substrato e inóculo utilizadas no ensaio AME.

Tratamento	% STV Resíduos Orgânicos (RO)	% STV Resíduos de Jardinagem (RJ)	Proporção Inóculo: Substrato (STV)
Branco	0	0	1
100% RO	100	0	1:3
5% RJ+ RO	95	5	1:3
10% RJ+RO	90	10	1:3
20% RJ+RO	80	20	1:3
100% RO	100	0	1:5
5% RJ+ RO	95	5	1:5
10% RJ+RO	90	10	1:5
20% RJ+RO	80	20	1:5

RESULTADOS

No gráfico 1 e 2 são apresentadas os resultados referentes ao volume acumulado de metano nos ensaios AME com as proporções inóculo:substrato nos valores 1:3 e 1:5, respectivamente. Os dados representam as médias das

triplicatas. É possível verificar que os maiores valores de volume acumulado de metano foram dos tratamentos com 20% de resíduo de jardinagem, corroborando com os resultados de Brow e Li (2013) que mostraram o benefício da co-digestão de resíduos alimentares e resíduos de jardinagem ao verificar maior produção de metano.

Gráfico 1. Volume de metano acumulado nos ensaios AME com proporção 1:3 de inóculo: substrato

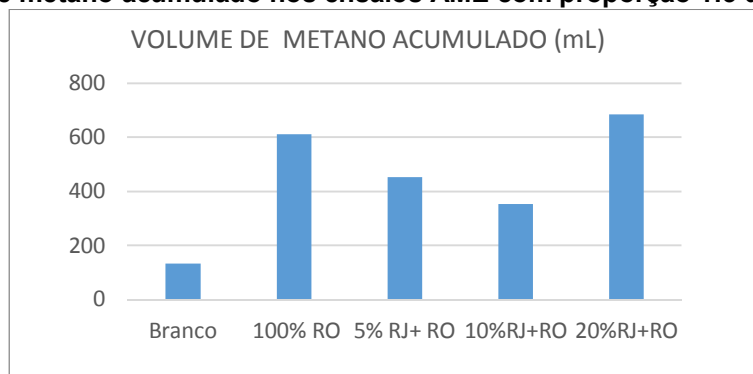
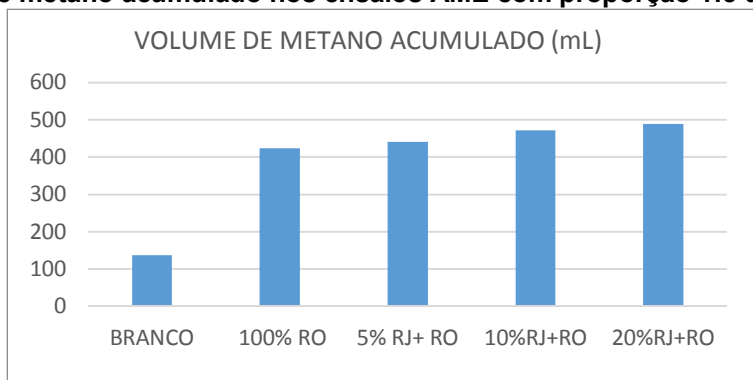
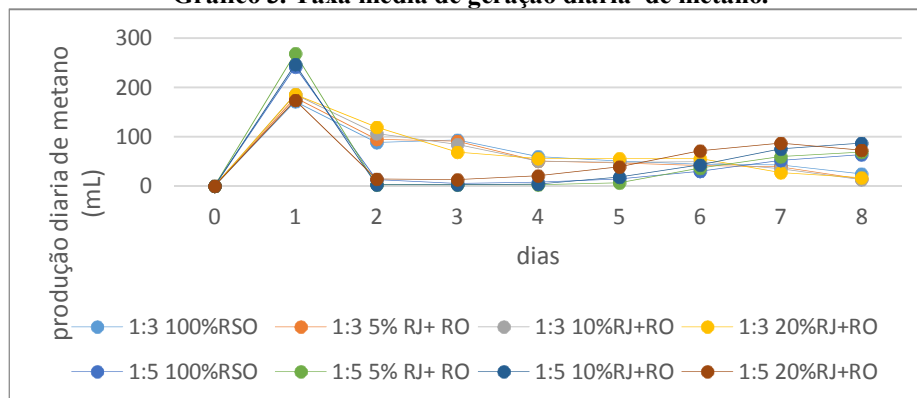


Gráfico 2. Volume de metano acumulado nos ensaios AME com proporção 1:5 de inóculo: substrato



A taxa média de geração diária são apresentados no Gráfico 3. Todos os tratamentos atingiram o máximo de produção nos três primeiros dias, isso acontece devido ao alto percentual de matéria orgânica biodegradável presente no RSO. Santos et al. (2014), em experimento avaliaram a relação de inóculo e substrato, comprovaram que a produção máxima de biogás foi atingida rapidamente nos primeiros dias e não se manteve constante devido à baixa quantidade do substrato. Isto comprova que o inóculo é importante para a produção de biogás, porém, se a quantidade de resíduo for pequena, a geração de biogás não se prolongará.

Gráfico 3. Taxa média de geração diária de metano.



Os ensaios com a relação 1:5 tiveram picos de produção de metano no 7º dia, o que pode ser explicado pela presença do resíduo de jardinagem em maior quantidade que a relação 1:3, uma vez que, o RJ é rico em lignina e celulose e apresenta tempo de biodegradação maior (Brow e Li, 2013).

A avaliação a ser feita no teste de atividade metanogênica específica é o volume de gás produzido por grama de STV adicionado ($\text{mL-CH}_4/\text{gSTV}_{\text{adicionado}}$). Para o ensaio com a relação inóculo: substrato 1:3 a maior AME

foi do tratamento 20%RJ+RO com o valor de 60,913 mL-CH₄/gSTV_{adicionado}, seguido do tratamento 100% RSO. Estes resultados mostram-se superiores ao encontrado por De Freitas Bueno (2010) que em seu estudo, com estrume bovino e esgoto sanitário, verificou a Atividade Metanogênica Específica (AME) de 36 mL-CH₄/gSTV_{adicionado}.

Para a relação 1:5, o tratamento 20%RJ+RO apresentou a maior AME, entretanto, não houve diferença significativa da AME entre as diferentes proporções de cosustrato.

Tabela 3. Atividade metanogênica específica dos tratamentos estudados.

	Relação inóculo 1:3 AME mL-CH ₄ /g STV _{adicionado}	Relação inóculo 1:5 AME mL-CH ₄ /g STV _{adicionado}
100% RO	42,746	10,708
5% RJ+ RO	28,561	11,293
10% RJ+RO	30,963	12,417
20% RJ+RO	60,913	13,029

É possível verificar a diferença da AME entre os dois tratamentos 20%RJ+RO, evidenciando que para o tratamento de RSO a melhor proporção inóculo:substrato é 1:3. Amorim (2012) verificou a maior produção de biogás no reator com 30% de inóculo (em volume) e acúmulo imensurável para o reator sem inóculo, resultado semelhante ao encontrado por Forster-Carneiro (2008) na biodegradação de resíduos alimentares e por Mata-Alvares (2003), que sugeriu a porcentagem efetiva para o tratamento anaeróbio de RSU em 30% (v/v) de inóculo.

CONCLUSÕES

O ensaio AME é uma importante ferramenta para os estudos de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos e eficiência de produção de metano.

A relação inóculo: substrato 1:3 se mostrou mais eficiente para o tratamento de RSO. A adição de 20% de RJ ao RSO beneficiou a produção de biogás e AME.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amorim, V.P.P. Comissionamento e produção de biogás a partir de vários resíduo. (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Pernambuco. Recife - PB. 2012.
2. Appels, L.; Baeyens, J.; Degreve, J. E Dewil, R. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. **Progress in Energy and Combustion Science**, n. 34; p.755–781. 2008.
3. APHA; AWWA; WPCF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. Washington. American Public Health Association, American Water Woks Association, Water Environment Federation. Washington-DC, USA.
4. De Freitas Bueno, Rodrigo. Comparação entre biodigestores operados em escala piloto para produção de biogás alimentado com estrume bovino. **Holos Environment**, v. 10, n. 1, p. 111-125, 2010.
5. Aquino, S.F.; Chernicharo, C.A.L.; Foresti, E.; Santos, M.L.F.; Monteggia, L.O. Metodologia para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 12, n. 2 (abr/jun), p. 192-201. 2007.
6. Brown, D. E Li,Y. Solid state anaerobic co-digestion of yard waste and food waste for biogas production. *Bioresource Technology* 127, 275–280. 2013.
7. Chen, C.C.; Lin, C.Y.; Chang, J.S. Kinetics of hydrogen production with continuous anaerobic cultures utilizing sucrose as the limiting substrate, *Appl. Microbiol. Biot.* 57 (2001) 56–64.
8. Chynoweth, D.P.; Turrck, C.E.; Owens, T.J.M.; Jerger, D.E.; Pecky, M.W. Biochemical methane potential of biomass and waste feedstocks. *Biomassa and Bioenergy*. vol. 5, no. 1, pp. 95- 111.1993.
9. Cuetos, M.J.; Gomez, X.; Otero, M.; Moran, A. Anaerobic digestion of solidslaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Biochem. Eng. J.* 40, 99– 106. 2008.

10. Foresti, E.; Florencio, L.; Van Haandel, A.; Zaiat, M.; Cavalcanti, P.F.F. Fundamentos do Tratamento Anaeróbio. In: Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. Rio de Janeiro: PROSAB, ABES. Cap. 2, pp. 2952, 1999.
11. Hartmann, H. E Ahring, B.K. Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: influence of co-digestion with manure. **Water Res.** 39, 1543–1552. 2005.
12. Mata-Alvares, J.; Macé, S.; Libres, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. **Bioresour. Technol.** 74. pp. 3–16. 2000.
13. Mata-Alvarez, J. Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solidwaste: a prespective. In: Biomethanization of the organic fraction of municipal solidwastes. **IWA Publishing**, p. 91-105. 2003.
14. Mata-Alvarez, J.; Dosta, J.; Romero-Güiza, M.S.; Fonoll, X.; Peces, M.; Astals, S. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewableand Sustainable Energy Reviews** 36, 412–427. 2014.
15. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos Catadores, 2012**. Comunicado nº 145. Disponível em http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/120425_comunicadoipea0145.pdf. Acesso em: 05 de maio de 2014.
16. Santos, F.S.F. Influência de inóculo na remoção de DQO e nitrogênio amoniacal de resíduos sólidos orgânicos tratados em reatores anaeróbios de batelada. **Trabalho de conclusão de curso**. (Graduação em Química Industrial). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2014.
17. Silva, W. R. Estudo Cinético do Processo de Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Vegetais. 2009. 175f. Tese (Doutorado em Química Analítica). Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB. 2009.