

Análise multivariada da biodigestão a partir de resíduos sólidos orgânicos

Laís Vilar Albuquerque¹; Geísa Vieira Vasconcelos Magalhães²; Paula Cruz de Albuquerque³
Ronaldo Stefanutti⁴; Ari Clecius Alves de Lima⁵

¹ Universidade Federal do Ceará, Unidade Acadêmica de Engenharia Ambiental – laisvilar@live.com

² Universidade Federal do Ceará, Unidade Acadêmica de Engenharia Hidráulica e saneamento Ambiental –
geisavieira@hotmail.com

³ Universidade Federal do Ceará, Unidade Acadêmica de Engenharia Ambiental – paulaacruz.al@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Ceará, Unidade Acadêmica de Engenharia Hidráulica e saneamento Ambiental –
ronaldostefanutti@hotmail.com

⁵ Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará, Núcleo de Química – ari.lima@nutec.ce.gov.br

RESUMO

Atualmente a produção de biogás através da degradação de resíduos orgânicos tem sido um fator de extrema importância, tanto para a área ambiental como social e econômica. O presente trabalho apresenta como objetivo, avaliar o uso de biodigestores no tratamento e na agregação de valor através dos resíduos orgânicos domésticos, dando ênfase nos princípios básicos planejamento e funcionamento ressaltando o uso dos produtos oriundos do processo de biodigestão anaeróbia (biogás e produção de metano) e suas respectivas vantagens.

Foram utilizadas técnicas de análise multivariada, análise de componentes principais (PCA), análise hierárquica de conglomerados (HCA), para avaliação das variáveis do processo.

O biodigestor experimental utilizado no estudo é um modelo vertical, de fluxo contínuo, fabricado em bombonas de polietileno com capacidade total de 60L sendo 30% destinado ao *headspace*. A capacidade útil do biodigestor foi de 42L, sendo que 80% foram destinados para o substrato e 20% para o inóculo. Os valores de pH variaram entre 5,5 – 8,5, estabilizando em torno de 7 em ambos os reatores. Os biodigestores R1 e R2, apresentaram um aumento em relação a produção de ácidos graxos. Após o dia 80. As três componentes principais explicam 80,36% dos conjunto de dados, sendo PC1 39,22% e PC2 25,71%, a primeira componente principal pode ser considerado um índice de eficiência de biodigestão, a relação entre as amostras e variáveis, a segunda componente principal podemos observar que pode ser considerado como um índice de biodegradabilidade da matéria orgânica.

A análise hierárquica de conglomerados, pode-se observar a formação de 5 grupos, onde o grupamento que contém os tempos para 115 dias, sugere que o reator 2 estabilizou após 83 dias.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a produção de biogás através da degradação de resíduos orgânicos tem sido um fator de extrema importância, tanto para a área ambiental como social e econômica. A geração contínua dos resíduos sólidos orgânicos tem contribuído para que o problema do lixo se agrave mais e mais no nosso país.

O presente trabalho apresenta como objetivo, avaliar o uso de biodigestores no tratamento e na agregação de valor através dos resíduos orgânicos domésticos, dando ênfase nos princípios básicos planejamento e funcionamento ressaltando o uso dos produtos oriundos do processo de biodigestão anaeróbia (biogás e produção de metano) e suas respectivas vantagens.

Um dos problemas graves de quase todas as cidades do mundo é a eliminação de resíduos orgânicos como por exemplo de restaurantes, desperdício de alimentos, resíduos de frutas e vegetais. De acordo com LIN et, al., [2011] a digestão anaeróbica é a melhor escolha para tratamento desses resíduos orgânicos em consideração de estabilização de resíduos e recuperação de energia.

Diversas tecnologias vêm sendo aplicadas para promover o reaproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos e minimizar os

riscos ambientais causados pela disposição inadequada, como também para o tratamento dos resíduos gerados. Dentre elas estão os métodos biológicos, em condições aeróbias ou anaeróbias, com vistas à reciclagem com valorização dos resíduos orgânicos através da conversão em compostos orgânicos para fins agrícolas ou pela produção de biogás que é composto de metano, oxigênio e gás carbônico, através da digestão anaeróbia com recuperação energética ou aproveitamento como gás natural [GONÇALVES, 2005].

A digestão anaeróbia é um processo biológico que converte matéria orgânica em uma mistura de gases de metano, dióxido de carbono, por um complexo comunidade de microrganismos [LIU, 2012]. Tem sido usado no tratamento de muitos tipos de resíduos orgânicos, e devido à variedade de substratos e a utilização como inoculo o lodo de esgoto, este processo tem a vantagem de proporcionar um aumento da produção potencial do biogás, a estabilização orgânica e recuperação de energia [LIU, 2012].

A digestão anaeróbia tem sido considerada como uma das principais opções comercial e ambiental para o tratamento de resíduos sólidos. Sob condições controladas podem reduzir a poluição ambiental e exige baixo consumo de energia para a operação (KIN, AHN; 2006)

Além disso, o processo pode produzir recursos energéticos renováveis, e o efluente pode ser usado como condicionador de solo. Uma grande variedade de substâncias inibidoras é a principal causa para o fracasso de um biodigestor, uma vez que estão presentes em concentrações substanciais [Chen et al., 2008].

Muitos relatórios foram publicados sobre a digestão anaeróbica, que trata diferentes tipos de resíduos orgânicos, tais como os resíduos domésticos e de cozinha, frutas, vegetais, resíduos agrícolas, resíduos industriais e orgânicos fração de resíduos sólidos urbanos [LIN et al., 2011]

A digestão anaeróbia produz metano e gera um resíduo digerido que é semelhante ao composto produzido em condições aeróbias. O processo é condicionado por meio de parâmetros de desempenho iniciais, tais como: o regime alimentar, o conteúdo total de sólidos, o tempo de retenção de sólidos (TRS) e a temperatura.

A biodigestão anaeróbica é um processo fermentativo realizado por bactérias que se multiplicam em ambientes anaeróbios, na qual as bactérias responsáveis pela digestão anaeróbica estão dispostas na natureza, em sedimentos de lagos, aterros sanitários, trato digestório de animais e esterco [CRAVEIRO et al., 1982].

Segundo Kunz et al. [2004] o processo de fermentação anaeróbio é um processo sensível, podendo ser dividido em quatro fases:

- Fase hidrolítica: nesta fase as enzimas hidrolíticas extracelulares das moléculas complexas dos substratos solúveis degradam-se (hidrolizam) em pequenas moléculas que são transportadas para dentro das células dos microorganismos e metabolizadas [OLIVEIRA, 2004]. Nessa fase ocorre a transformação de proteínas em aminoácidos, de carboidratos em açúcares solúveis e de lipídeos em ácidos graxos de cadeia longa e glicerina [SOUZA, 2005];
- Fase de fermentação ácida (acidogênese): os produtos gerados na primeira fase vão ser transformados em ácidos orgânicos (acético, propiônico, butírico, isobutírico, fórmico, hidrogênio (H₂) e dióxido de carbono (CO₂)) [OLIVEIRA, 2004]. Nesta fase não necessariamente é realizada por bactérias anaeróbias, é considerado vantajoso para o processo, visto que assim vai garantir um ambiente isento de oxigênio, essencial para as bactérias metanogênicas [NOGUEIRA, 1992];
- Fase de acetogênese: as bactérias acetogênicas, denominadas como produtoras de hidrogênio convertem os produtos gerados da acidogênese em dióxido de carbono (CO₂),

hidrogênio (H₂), acetato e ácidos orgânicos de cadeia curta [SOUZA, 2005];

- Fase metanogênica: as bactérias metanogênicas convertem os ácidos orgânicos de cadeia curta, o dióxido de carbono (CO₂) e o hidrogênio (H₂) em metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) [OLIVEIRA, 2004]. Segundo Nogueira [1992], 70% do metano formado provêm do acetato e o restante do dióxido de carbono e hidrogênio. O sucesso da biodigestão depende do balanceamento entre as bactérias que produzem gás metano (CH₄) a partir dos ácidos orgânicos e este, é dado pela carga.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a produção de biogás a partir de dois diferentes biodigestores anaeróbios com diferentes concentrações de sólidos R1 e R2, e avaliar a sua influência na produção de gás metano.

2. METODOLOGIA

O local onde se realizou o estudo foi na Estação de Água e Esgoto, pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC) – Campus do Pici no período de 09 de março a 09 de julho de 2015, totalizando 120 dias. O biodigestor experimental utilizado no estudo é um modelo vertical, de fluxo contínuo, fabricado em bombonas de polietileno com capacidade total de 60L sendo 30% destinado ao *headspace*. A capacidade útil do

biodigestor foi de 42L, sendo que 80% foram destinados para o substrato e 20% para o inóculo.

O substrato orgânico era proveniente dos resíduos orgânicos do restaurante universitário do Pici e dentre os resíduos estavam restos de arroz, macarrão, carne, frango, frutas, feijão, farofa, tendo um substrato bastante diversificado. Após a coleta, os resíduos foram triturados em um liquidificador industrial, até se obter uma massa homogênea, o inóculo foi utilizado lodo de fossa séptica onde foram adicionados em torno de 20% do volume total dos biodigestores.

No estudo foram utilizados dois biodigestores com diferentes concentrações de sólidos. O biodigestor R1 foi alimentado inicialmente com 2kg de substrato e o R2 foi alimentado com 5kg de substrato orgânico. Após finalizar os parâmetros foram analisados semanalmente. A Tabela I mostra os parâmetros utilizados para a caracterização físico química dos resíduos.

Os dados gerados foram processados pelo software estatístico livre R Project, para análise estatística multivariada. A análise de componentes principais foi realizada a partir da matriz de correlação com os dados autoescalados, para o método de análise hierárquica foi utilizado distância

Euclidiana e o método de Ward tendo como pré-processamento os dados do PCA.

A interpretação dos componentes principais consiste em analisar a influência de cada variável sobre cada componente, mediante o grau de importância. Assim, quando o objetivo da análise é comparar indivíduos e/ ou agrupá-los calcula-se para cada indivíduo valores (*scores*) como para cada componente.

Um dos critérios de seleção dos componentes principais (PC) consiste em incluir somente os componentes com autovalores maiores que 1 ou componentes com variância acumulativa acima de 70%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os primeiros dias, o controle do pH foi necessário em ambos os reatores. Foi adicionado bicarbonato de sódio (NaHCO_2) durante o início da biodigestão até a completa estabilização dos reatores. Os valores de pH variaram entre 5,5 – 8,5, estabilizando em torno de 7 em ambos os reatores. Os biodigestores R1 e R2, apresentaram um aumento em relação a produção de ácidos graxos. Após o dia 80, a matéria orgânica hidrolisada foi transformada em ácidos graxos voláteis, sugerindo a fase de estabilização.

Os valores DQO diminuíram com o tempo de digestão. Somente após as alimentações com substrato é que se elevavam. Os biodigestores mostraram atividade microbiana ideal, atingindo valores estáveis, após 35 ou 40 dias desde a inoculação. A partir deste momento e até 45 e 80 dias de operação, o reator apresentou a maior eficiência de remoção de substrato com valores próximos a 80,69% e 69,05% de remoção de DQO no R1 e R2, respectivamente.

O volume máximo do biogás gerado nos biodigestores 1,28 para o R1 1,26L para o R2, apresentando quantidades bem próximas, sendo que o R1 apresentou quantidades maiores de metano.

As três componentes principais explicam 80,36% dos conjunto de dados, sendo PC1 39,22% e PC2 25,71%, Tabela 1. Observa-se que a maior parte das análises realizadas ao longo do tempo se encontram do lado direito da PC1, onde podemos observar maiores escores para sólidos totais, voláteis e alcalinidade, Tabela 2, a primeira componente principal pode ser considerado um índice de eficiência de biodigestão, a relação entre as amostras e variáveis pode ser visto nas Figuras 12. As amostras relativas a R1 estão em sua maioria localizados no lado esquerdo da PC1, a exceção das amostras em tempos próximo a estabilização.

Quanto a segunda componente principal podemos observar que pode ser considerado como um índice de biodegradabilidade da matéria orgânica, para amostras obtidas em tempos maiores podemos observar que estão na parte inferior do gráfico, enquanto que para amostras obtidas em tempos menores estão na parte superior.

Conforme os critérios de seleção citados grifaram-se na Tabela 2 os valores de maior relevância das componentes principais, sendo que PC1 e PC2 explicam 80,36% dos resultados, Tabela 1.

Tabela 1: Resumo da análise de componentes principais para as amostras de inóculos analisados.

PC	Autovalor	Variância (%)	variância acumulada (%)
PC 1	5,49	39,22	39,22
PC 2	3,60	25,71	64,93
PC 3	2,16	15,43	80,36
PC 4	1,18	8,42	88,78
PC 5	0,79	5,63	94,41

Tabela 2: Contribuição de cada variável para a componente principal.

Variável	PC1	PC2
ST..mg.L.	0,842	0,070
STF..mg.L.	0,277	0,608
STV..mg.L.	0,852	0,054
ST..	0,835	0,077
STV..	0,275	0,705
STF..	0,275	0,705
COT.	0,275	0,706
ALCALINIDAD E	0,534	0,204
AGV	0,062	0,119
AGV_AT	0,044	0,035
pH	0,180	0,036
FOSFORO	0,000	0,207
AMONIA	0,622	0,012
NTK	0,418	0,060

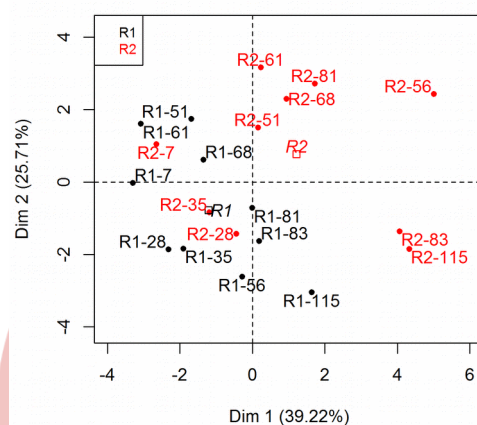


Figura 1: Gráfico de "scores" dos componentes principais.

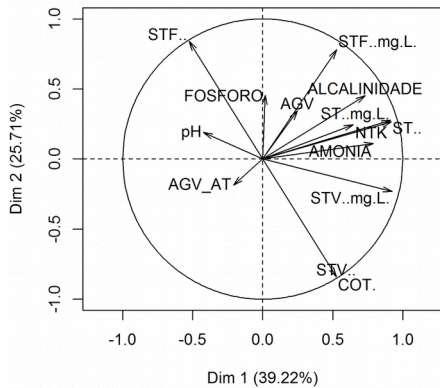


Figura 2: Gráfico de “loadings” dos componentes principais.

Quanto a análise hierárquica de conglomerados, pode-se observar a formação de 5 grupos, onde o grupamento que contém os tempos para 115 dias, sugere que o reator 2 estabilizou após 83 dias, sendo necessário a realimentação antes.

Hierarchical clustering on the factor map

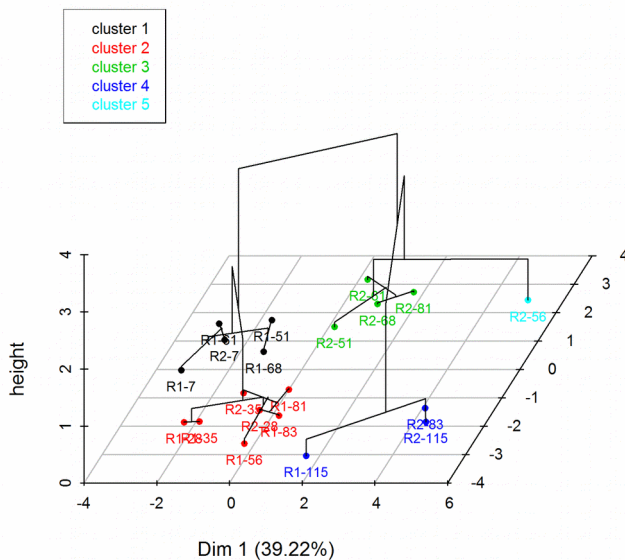


Figura 3: HCA 3D dos dados de biodigestão.

4. CONCLUSÕES

A partir de reatores de baixo custo foi possível dar destino adequado aos resíduos sólidos orgânicos, com produção de biogás, sendo que,

Através da análise multivariada, PCA e HCA, foi possível identificar de forma mais clara as principais variáveis que influenciaram de forma positiva ou negativa o processo de biodigestão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S., 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresour. Technol.* 99, 4044–406

KUNZ, A.. Tratamento de dejetos: desafio da suinocultura tecnificada. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 2005. 4 p. Disponível em: . Acesso em: 24 jul. 2011.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P. A. V. de et al. *Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: Manual REVISTA CIENTÍFICA.*

SOUZA, C. de F.. Produção de biogás e tratamento de resíduos: Biodigestão anaeróbia. *Ação Ambiental, Viçosa*, n. 34, p.26-29, nov./dez. 2005.

Yao YQ, Luo Y, Yang YG, Sheng HM, Li XK, Li T, et al. Water free anaerobic codigestion of vegetable processing waste with cattle slurry for methane production at high total solid content. *Energy* 2014;

FERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, M.; ROMERO, L. I. Effect of substrate concentration on dry



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

mesophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW).

Bioresource Technology, v. 99, n. 14, p. 6075-6080, 2008.

GAO, X.; LIU, X.; WANG, W.

Biodegradation of particulate organics and its enhancement during anaerobic co-digestion of municipal biowaste and waste activated sludge. **Renewable Energy**, 2016.

GONÇALVES, Manuel Souteiro. **Gestão de resíduos orgânicos**. Editora SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação Consultadoria Empresarial e Fomento da Inovação, S.A. Porto • 2005 • 1.^a edição.

Kim JK, Oh BR, Chun YN, Kim SW. Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste. **Journal Biosci Bioeng**, v. 102, n.8, p. 328 -332, 2006.

Ahn JH, Do TH, Kim SD, Hwang SH. The effect of calcium on the anaerobic digestion treating swine wastewater. **Journal Biochem Eng**, v.30, n. 1, p. 33 -38, 2006.

[10] Azeem K, Muhammad A, Muzammil A, Tariq M, Lorna D. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Manag** 2011;31:1737e44.

LIN, J. et al. Effects of mixture ratio on anaerobic co-digestion with fruit and vegetable waste and food waste of China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 8, p. 1403-1408, 2011.

LIU, X. et al. Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste and waste activated sludge in China: Effect of organic loading rate. **Waste Management**, v. 32, n. 11, p. 2056-2060, 2012.



www.conepetro.com
.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br