

## **Valorização dos resíduos orgânicos através da biodigestão anaeróbia com a utilização da análise multivariada.**

### **Valorization of organic waste through anaerobic biodigestion using multivariate analysis.**

DOI:10.34117/bjdv7n1-332

Recebimento dos originais: 13/12/2020

Aceitação para publicação: 13/01/2021

#### **Francisca Lívia de Oliveira Machado**

Universidade Federal do Ceará, Doutoranda em Engenharia Civil (área de saneamento ambiental)

Avenida mister Hull, bloco 713, CEP: 60455-760, Bairro Campus do Pici, Fortaleza-Ceará

E-mail: liviadeha@gmail.com

#### **Geísa Vieira Vasconcelos Magalhães**

Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará, Doutora em Engenharia Civil (área de saneamento ambiental)

Rua Prof. Rômulo Proença, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-552

E-mail: geisa.vieira@nutec.ce.gov.br

#### **Ari Clecius Alves de Lima**

Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará, Doutor em Engenharia Civil (área de saneamento ambiental)

Rua Prof. Rômulo Proença, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60440-552

E-mail: ari.lima@nutec.ce.gov.br

#### **Paula Cruz de Albuquerque**

Universidade Federal do Ceará, Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento

Avenida mister Hull, bloco 713, CEP: 60455-760, Bairro Campus do Pici, Fortaleza-Ceará

E-mail: paulaacruz.al@gmail.com

#### **Ronaldo Stefanutti**

Universidade Federal do Ceará, Prof adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental

Avenida mister Hull, bloco 713, CEP: 60455-760, Bairro Campus do Pici, Fortaleza-Ceará

E-mail: ronaldostefanutti@hotmail.com

#### **Láis Vilar Albuquerque**

Universidade Federal do Ceará, Graduada em Engenharia Ambiental

Avenida mister Hull, bloco 713, CEP: 60455-760, Bairro Campus do Pici, Fortaleza-Ceará

E-mail: laisvilar@live.com

### **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. 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.

**Palavra-Chave:** Resíduos orgânicos, biogás, análise multivariada, biodigestão anaeróbia

#### **ABSTRACT**

Currently the production of biogas through the degradation of organic waste has been an extremely important factor, both for the environmental and social and economic areas. The present work presents as objective, to evaluate the use of biodigestors in the treatment and value addition through domestic organic waste, emphasizing the basic principles of planning and operation highlighting the use of products from the process of anaerobic biodigestion (biogas and methane production) and their respective advantages. Multivariate analysis techniques, principal component analysis (PCA), conglomerate hierarchical analysis (HCA) were used to evaluate the process variables. The experimental biodigester used in the study is a vertical model, of continuous flow, manufactured in polyethylene drums with total capacity of 60L being 30% destined to headspace. The useful capacity of the biodigester was 42L, being 80% destined for the substrate and 20% for the inoculum. The pH values varied between 5.5 - 8.5, stabilizing around 7 in both reactors. The biodigestors R1 and R2, showed an increase in relation to the production of fatty acids after the 80th. The three main components explain 80.36% of the data set, being PC1 39.22% and PC2 25.71%, the first main component can be considered an index of biodigestion efficiency, the relationship between the samples and variables, the second main component we can observe that can be considered an index of biodegradability of organic matter. The hierarchical analysis of conglomerates, we can observe the formation of 5 groups, where the grouping that contains the times for 115 days, suggests that reactor 2 stabilized after 83 days.

**Keyword:** Organic waste, biogas, multivariate analysis, anaerobic biodigestion

## 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 em no nosso país.

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, 2012).

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. (FERNANDEZ, 2008).

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 (H<sub>2</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)) (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 (CO<sub>2</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>), 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 (CO<sub>2</sub>) e o hidrogênio (H<sub>2</sub>) em metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (OLIVEIRA, 2004). Segundo Nogueira (1992), 70% do metano formado provém 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 (CH<sub>4</sub>) a partir dos ácidos orgânicos e este, é dado pela carga.

Um estudo realizado por Bezerra, Rodrigues, Ó, Porto, Montero e Leite (2020) foi identificado o potencial de produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos orgânicos, na qual foi estimado um valor total de 29.386.550 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ano, sendo assim apresentado um potencial energético referente a 60.032,52(MWh/ano) favorável a produção de energia elétrica, considerando o poder calorífico de metano bastante elevado. De acordo com Magalhaes (2018), em um biodigestor piloto, com uma relação I/S 1:1 na durante 150 dias efetivos, com TDH de 30 dias, foi observado um rendimento de metano de 150m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tSV

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 com o uso da análise estatística multivariada.

## 2 METODOLOGIA

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 da Universidade Federal do Ceará (UFC), na qual 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 orgânico e o R2 foi alimentado com 5kg de substrato orgânico. Após finalizar o experimento, os parâmetros foram analisados semanalmente.

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 auto escalonados, 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 ( $\text{NaHCO}_2$ ) 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 1,28L para o R1 1,26L para o R2, aprestando quantidades bem próximas, sendo que o R1 apresentou quantidades maiores de metano. As três componentes principais explicam 80,36% dos conjuntos de dados, sendo PC1 39,22% e PC2 25,71%, de acordo com a Tabela 1.

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

PC	autovalor	variância (%)	variância acumulada (%)
PC1	5,49	39,22	39,22
PC2	3,60	25,71	64,93
PC3	2,16	15,43	80,36
PC4	1,18	8,42	88,78
PC5	0,79	5,63	94,41

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 como mostra a 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 1 e 2. As amostras relativas a R1 estão em sua maioria localizados no lado esquerdo da PC1, a exceção das amostras em tempos próximos a estabilização. 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 2: Contribuição de cada variável para a componente principal.

Variável	PC1	PC2
ST (mgL <sup>-1</sup> )	<b>0,842</b>	0,070
STF (mgL <sup>-1</sup> )	0,277	0,608
STV (mgL <sup>-1</sup> ).	<b>0,852</b>	0,054
ST (%)	<b>0,835</b>	0,077
STV (%)	0,275	<b>0,705</b>
STF (%)	0,275	<b>0,705</b>
COT (mgL <sup>-1</sup> )	0,275	<b>0,706</b>
Alcalinidade	<b>0,534</b>	0,204
AGV (mgL <sup>-1</sup> )	0,062	0,119
AGV/AT	0,044	0,035
pH	0,180	0,036
Fósforo (mgL <sup>-1</sup> )	0,000	0,207
Amônia (mgL <sup>-1</sup> )	<b>0,622</b>	0,012
NTK (mgL <sup>-1</sup> )	0,418	0,060

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 para amostras obtidas em tempos menores estão na parte superior. A relação entre as amostras e variáveis pode ser visto nas Figuras 1 e 2.



Figura 1: Gráfico de “scores” dos componentes principais.

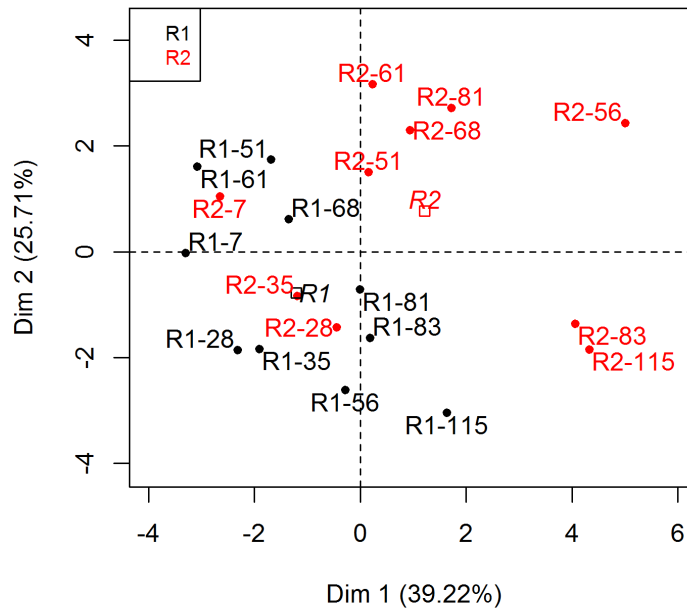
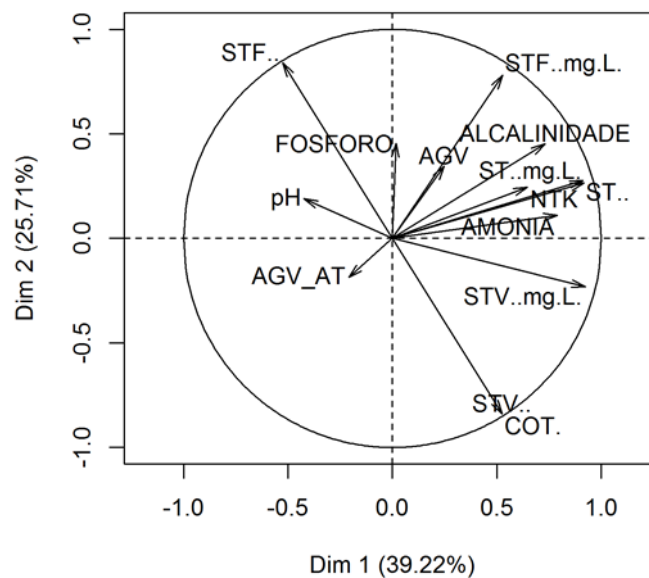


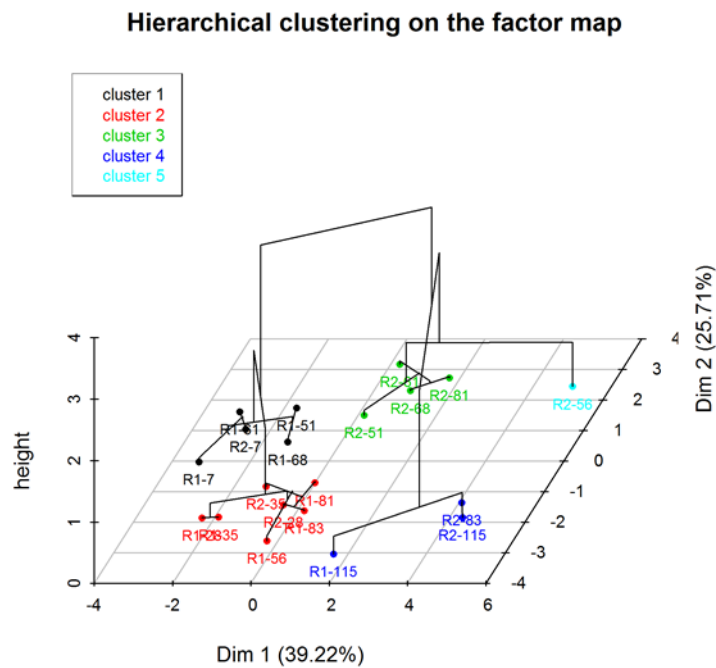
Figura 2: Gráfico de “loadings” dos componentes principais.



Quanto a análise hierárquica de conglomerados (Figura 3) 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



Figura 3: HCA 3D dos dados do experimento



#### 4 CONCLUSÕES

A partir do estudo de reatores de baixo custo, foi possível ter resultados para a agregação de valor através dos resíduos orgânicos domésticos, dando ênfase nos princípios básicos planejamento e funcionamento dos produtos oriundos do processo de biodigestão anaeróbia (biogás e produção de metano), visando o 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.

## REFERÊNCIAS

BEZERRA, Vanessa Rosales; RODRIGUES, Roberta Milena Moura; Ó, Kely Dayane Silva do; PORTO, Rejane Mirelle Izabel; MONTERO, Luis Reyes Rosales; LEITE, Valderi Duarte. Estimativa do potencial energético a partir da produção de biogás de RSU no estado da Paraíba. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, p. 49251-49261. 10 jul. 2020

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;74:309e13.

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

MAGALHÃES, Geísa Vieira Vasconcelos. Avaliação da biodigestão anaeróbica de resíduos orgânicos: Ensaio de potencial bioquímico de metano (BMP) e projeto piloto de um biodigestor em escala real. 2018. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.