

Efeitos da relação carbono/ nitrogênio na produção de biogás proveniente de resíduos sólidos orgânicos urbanos

Effects of the carbon-nitrogen ratio on the biogas production from municipal organic solid waste

DOI:10.34117/bjdv7n9-050

Recebimento dos originais: 07/08/2021

Aceitação para publicação: 01/09/2021

Caroline Cecílio Dornelas Regazi

Pós Graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho
Endereço: Rua 2, 278, Açude I Volta Redonda – RJ
E-mail: k-roldornelas@hotmail.com

Giovana Ribeiro de Almeida

Bacharel em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário de Volta Redonda
Endereço: Avenida Paulo Erlei Abrantes, 1325, Três Poços, Volta Redonda – RJ CEP:
27240-560
E-mail: giovanar.almeida@gmail.com

Hiago Tavares de Souza

Bacharel em Engenharia de Agronegócios pela Universidade Federal Fluminense
Endereço: Rua 90 – B, s/n, Vila Santa Cecília, Volta Redonda – RJ
E-mail: hiago_tavares@id.uff.br

Marina Guião de Souza Lima

Aluna do 3º ano do Ensino Médio pelo Colégio Interativo
Endereço: Rua Trinta e Um - A, 45, Vila Santa Cecília, Volta Redonda – RJ
E-mail: guiaomarina@gmail.com

Roberto Guião de Souza Lima Júnior

Dsc., Professor no Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Universitário de
Volta Redonda
Endereço: Avenida Paulo Erlei Abrantes, 1325, Três Poços, Volta Redonda – RJ CEP:
27240-560
E-mail: robertoguiao@hotmail.com

Sarah Teodoro de Faria

Pós Graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho
Endereço: Professor Braz Máximo de Castro, 71, Mangueira, Volta Redonda – RJ
E-mail: sarahtfaria@yahoo.com.br

RESUMO

No Brasil, cerca de 50% dos resíduos em peso são orgânicos e menos de 1% destes é tratado e aproveitado economicamente, contribuindo negativamente para a geração de gases de efeito estufa e de chorume em lixões, aterros controlados e aterros sanitários que, infelizmente, são as principais formas de disposição final no país. Nesse cenário, a

biodigestão anaeróbica poderia contribuir significativamente ao tratar e promover o aproveitamento energético e mássico desses resíduos. Contudo, limitações técnicas e culturais ainda dificultam a adoção dessa prática no Brasil. Neste trabalho foram testadas 3 diferentes relações carbono/nitrogênio contribuindo para definição de parâmetros operacionais de melhor rendimento que incentivem a adoção da digestão anaeróbia, sendo: 1) restos de alimentos (C/N 15), 2) restos de alimentos e papel toalha (C/N 30) e 3) restos de alimentos e podas vegetais (C/N 30). Observou-se que o tratamento 3, mesmo com relação C/N adequada, obteve menor produção de biogás que os demais, o que pode ter sido causado pela dificuldade de acesso dos microrganismos às podas vegetais utilizadas como fonte de carbono. Assim, a facilidade de degradação do substrato mostrou-se mais relevante para a produção de biogás do que a correta relação C/N.

Palavras-chave: biogás, carbono/nitrogênio, aproveitamento energético, resíduos sólidos orgânicos

ABSTRACT

In Brazil, about 50% of waste by weight is organic and less than 1% of this is treated and economically used, contributing negatively to greenhouse gases and leachate generation in dumps, controlled landfills and landfills which, unfortunately, are the main forms of final disposal in the country. Thus, anaerobic digestion could significantly contribute by treating and promoting the energy and mass utilization of these residues. However, technical and cultural limitations still hamper the adoption of this practice in Brazil. In this paper, 3 different carbon/nitrogen ratios were tested, contributing to the definition of operational parameters of better yield that encourage the adoption of anaerobic digestion, being: 1) food waste (C/N 15), 2) food waste and paper towels (C/N 30) and 3) food waste and yard trimmings (C/N 30). It was observed that treatment 3, even with an adequate C/N ratio, obtained less biogas production than the others, which may have been caused by the difficulty of microorganisms to access yard trimmings used as a carbon source. Thus, substrate degradation ratio proved to be more relevant for the production of biogas than the correct C/N ratio.

Keywords: biogas, carbon/ nitrogen, energy recovery, organic solid waste.

1 INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial foi um marco importante para a modernização e o crescimento da população, dada à melhoria das condições de vida em virtude da evolução tecnológica. Contudo, o desenvolvimento tecnológico aumentou o consumo de matérias primas e insumos, assim como, conseqüentemente, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) e rejeitos, ocasionando preocupação no âmbito ambiental com o agravamento das condições sanitárias e sociais (OLIVEIRA, 2019).

No Brasil uns dos maiores problemas ambientais é o baixo percentual de tratamento dos RSU, principalmente devido a problemas administrativos e econômicos, resultando em descarte incorreto. (ABRELPE, 2020; BRASIL, 2019).

A produção de RSU no Brasil, que em 2010 alcançou a marca de 67 milhões de toneladas por ano, cresceu 17,9% em 2019, atingindo 79 milhões de toneladas por ano. Essa tendência de crescimento também foi observada na geração per capita, que no referente período cresceu 8,87%. Nesse período ocorreu também o crescimento da quantidade de RSU coletados no país, que passou de 58,8 milhões de toneladas em 2010, para 72,7 milhões de toneladas em 2019, assim como a coleta de resíduos per capita, que cresceu 13,6%. No entanto, apesar do incremento na destinação adequada dos resíduos, 56,8% em 2010 e 59,5% em 2019, a destinação inadequada de resíduos em 2019 atingiu 29,4 milhões de toneladas por ano (ABRELPE, 2020).

Mais agravante ainda é o fato da disposição de RSU em aterros sanitários ser também inadequada, visto as dificuldades técnicas / econômicas para captação e tratamento adequado de chorume e gás, assim como o desperdício mássico e energético dos resíduos (FERNANDES, 2018; MAHLER, 2012), embora esta ainda seja uma prática considerada adequada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Tal fato é também relevante devido ao percentual de resíduos sólidos orgânicos no total de RSU disposto, que ultrapassa os 57% (IPEA, 2017), sendo, aproximadamente, 48,1 milhões de toneladas (BRASIL, 2019). Esta representa a maior fração responsável pela poluição do ar, água e solo (LIMA JR., 2015).

Por outro lado, várias formas de disposição, pré-tratamento e tratamento vêm sendo utilizadas nos países desenvolvidos, visando o menor impacto ao meio ambiente e o aproveitamento do potencial dos RSU. Dentre as mais utilizadas se destacam a incineração, pirólise, reciclagem, compostagem, digestão anaeróbica e vermicompostagem (PRATES; PIMENTA; RIBEIRO, 2019; LIMA JR., 2015).

A demanda relacionada a utilização de fontes de energia renovável, visando tanto a diversificação da matriz energética, quanto a sua consequente diminuição da dependência por combustíveis fósseis, pode ser beneficiada pelo aproveitamento da biomassa, o que também auxilia no tratamento de resíduos, a exemplo da biodigestão anaeróbia, contribuindo para o saneamento urbano e rural, e como benefício gera biogás como fonte de renda, além da produção de biofertilizante, que pode ser utilizado em atividades agrícolas (MACHADO *et al.*, 2021; CARDOSO, 2012; GOLDEMBERG, 2009).

A biodigestão anaeróbia pode ser entendida como um processo fermentativo e oxidativo de degradação de substratos orgânicos, que ocorre na ausência de oxigênio molecular pela ação de um consórcio de microrganismos que ocorrem de maneira

interdependente, o que promove a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples, resultando principalmente nos gases metano e dióxido de carbono (ARAÚJO et al., 2017; KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2014).

O processo de digestão anaeróbia apresenta várias vantagens se comparado com o processo de digestão aeróbia como baixa produção de lodo, limitado impacto ambiental, utilização do efluente como biofertilizante, alta eficiência no tratamento, redução da emissão de metano para a atmosfera, geração de biogás como combustível, além da produção econômica de energia (SILVA, 2019; WANG et al., 2018; HAGOS et al., 2017; VICTORINO, 2017; SILVA et al., 2016; PAVAN et al., 2000; TREVISAN; MONTEGGIA, 2009). Contudo, limitações econômicas, culturais e operacionais dificultam a implantação dessa tecnologia no Brasil, o que demanda melhorias de desempenho que estimulem sua adoção.

O sucesso da aplicação da tecnologia de biodigestão anaeróbia para a obtenção de biogás depende do entendimento desse processo de obtenção, que caso não seja bem conduzido, pode prejudicar ou até mesmo inviabilizar a geração do biogás (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2014).

Um dos gargalos técnicos é a definição das melhores composições de resíduos tipicamente urbanos, com base na relação carbono / nitrogênio (C/N), em condições tropicais, para digestão anaeróbica.

Segundo Mata- Alvarez (2003), a melhor relação C/N é de 30/1. Contudo, considerando restos de alimentos, foco do presente estudo, a relação C/N é de cerca de 15/1. Assim, teoricamente, tais resíduos demandariam um enriquecimento em C para atingirem a C/N ideal. Por outro lado, muitos geradores urbanos não dispõem de resíduos ricos em C para tal enriquecimento, fato que motivou os testes em tela, objetivando verificar se existem diferenças significativas na produção de biogás proveniente de resíduos tipicamente brasileiros com diferentes C/N's.

2 OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo testar o desempenho de diferentes composições de resíduos tipicamente urbanos no que tange a produção de biogás, com foco nas diferentes relações C/N, contribuindo para definição de parâmetros operacionais de melhor rendimento que incentivem a adoção da digestão anaeróbia no Brasil.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversos são os fatores que podem influenciar a eficiência da produção de biogás em biodigestores anaeróbios, como a composição química dos resíduos utilizados, presença de oxigênio no processo, temperatura, pH, dentre outros (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2014).

Muitos pesquisadores vêm testando a produção de biogás com diferentes relações C/N, visto sua influência no volume e composição do biogás, assim como na estabilidade química do processo, devendo ser ajustada para 30/1 (MATA-ALVAREZ 2003).

Contudo, esta influência é variável entre diferentes tipos de resíduos:

Tanimu *et al.* (2014) observaram vantagens na produção de biogás proveniente de restos de alimentos associada a restos de frutas, vegetais e carnes com relação C/N 30;

Achmad *et al.* (2016) encontraram maior percentual de CH₄ no biogás proveniente da mistura de esterco bovino e plantas aquáticas (aguapé) com C/N ajustada para 30;

Guarino *et al.* (2016) não encontraram diferença significativa na produção de biogás proveniente de esterco de búfalo com C/N variando entre 9 e 50.

Tais variações motivaram os testes em tela, os quais têm descritivo metodológico apresentado a seguir.

4 METODOLOGIA

Para realização do presente trabalho, desenvolvido no Laboratório de Biogás do Curso de Eng. Ambiental, Centro Universitário de Volta Redonda, UNIFOA. Foram construídos 09 digestores de PVC com 10 cm de diâmetro e 110 cm de comprimento, totalizando 8,7 litros de volume interno.

Figura 1: Biodigestor



No experimento foram utilizadas três composições de resíduos: Composição 1 (restos de alimentos), 2 (restos de alimentos e papel toalha) e 3 (restos de alimentos e podas vegetais), as quais tiveram as seguintes relações C/N: 1 (relação C/N=15), 2 (relação C/N=30,5) e 3 (relação C/N=30,4).

A relação C/N definida para cada composição de resíduos foi obtida segundo Richard e Trautmann (2021), conforme a Equação 1 para calcular a proporção da mistura em seu conjunto.

$$R = \frac{[Q_1(C_1(100 - M_1)) + Q_2(C_2(100 - M_2)) + Q_3(C_3(100 - M_3)) + \dots]}{[Q_1(N_1(100 - M_1)) + Q_2(N_2(100 - M_2)) + Q_3(N_3(100 - M_3)) + \dots]}$$

No qual, têm-se:

R: Razão C/N;

Qn: Massa do material (peso úmido) do material n;

Mn: Teor de umidade (%) do material n;

Cn: Teor de carbono (%) do material n;

Nn: Teor de nitrogênio (%) do material n.

Para determinação da carga orgânica de aporte e equivalência entre os tratamentos, foram analisadas três amostras de cada um dos resíduos componentes das três composições de resíduos testadas para determinação do teor de sólidos totais (St) e

sólidos voláteis (Sv), segundo metodologias propostas em DIN EN 14346 (2006) e DIN EN 15169 (2007).

Após determinação da composição dos resíduos e seus percentuais por tratamento, estes foram triturados em liquidificador industrial e colocados em biodigestores anaeróbicos para biodigestão em regime de batelada, inoculados com 6 L de inóculo bovino pré-adaptado aos resíduos orgânicos sólidos urbanos.

O inóculo utilizado foi submetido previamente a “hungryphase” de dez dias, eliminando a maioria da carga orgânica do inóculo, de acordo com VDI 4630 (2006).

Os digestores foram divididos em três grupos: Digestores 1 a 3 foram alimentados com a composição 1, digestores 4 a 6 foram alimentados com a composição 2 e digestores 7 a 9 alimentados com a composição 3.

Os digestores foram hermeticamente fechados e conectados a sacos de armazenamento de biogás marca Tesseraux / Germany.

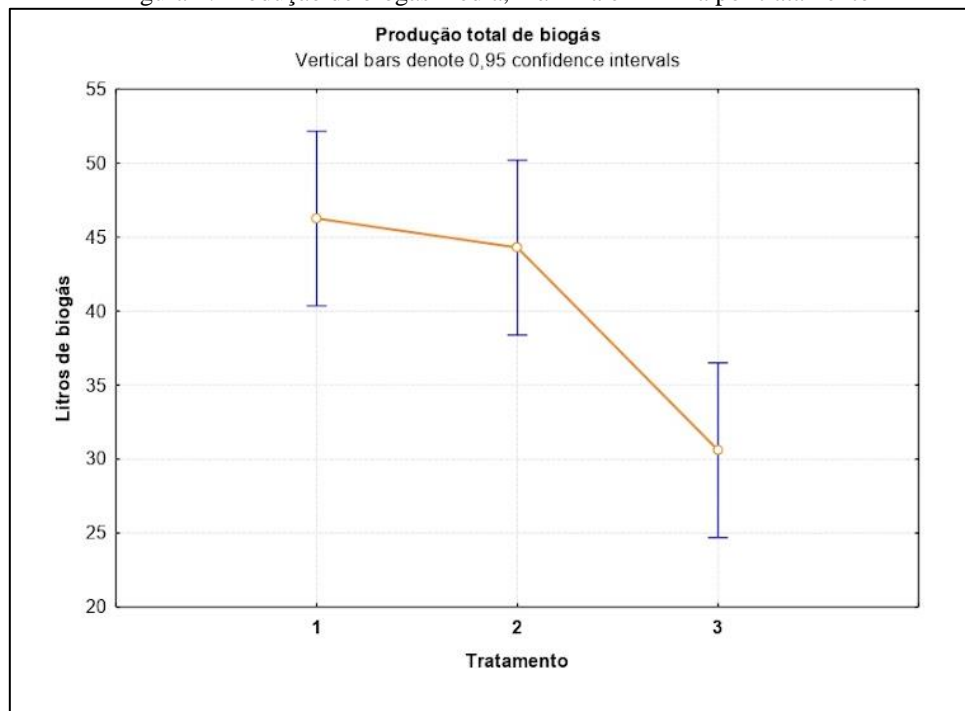
Foram feitas 6 leituras do volume de biogás produzido em cada um dos digestores, totalizando 54 leituras, utilizando-se o medidor de vazão termal Brooks instruments 4800 series, Modelo 4860, alimentado por uma bomba a vácuo, após 5, 9, 12, 19, 27 e 48 dias em biodigestão.

As comparações entre os resultados foram feitas por Análise de Variância (ANOVA) ao nível de significância de 95% de confiança, com verificação prévia da normalidade e da homocedasticidade das variáveis, como sugerido por Sokal & Rohlf (2012). Como a maioria dos dados não atendeu estes requisitos foi utilizada a transformação logarítmica $\text{Log}(x + 1)$, onde Log é o logaritmo na base 10, e x é o valor não transformado. As transformações foram feitas previamente à análise de variância ANOVA, e seguida do teste a posteriori de diferenças de médias de Tukey ao nível de confiança de 95% ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de biogás foi de 138,8 L para o tratamento 1, 132,9 tratamento 2 e 91,8L para o tratamento 3, como visto na figura 2, ou 1,3 L por grama de sólido volátil adicionada (gsv) em 1, 1,2 L/gsv em 2 e 0,9 L/gsv em 3, como visto na figura 2.

Figura 2: Produção de biogás média, máxima e mínima por tratamento



Tal resultado evidencia uma produção de biogás significativamente menor no tratamento 3 em relação aos tratamentos 1 e 2, mesmo com relação C/N mais adequada que o tratamento 1, com C/N abaixo do desejável. Contudo, esperava-se que a relação C/N mais próxima de 30/1 no tratamento 3 em relação ao tratamento 1 deveria proporcionar uma maior produção de biogás, como observado em Tanimu et al., (2014).

Este aspecto também é considerado por Gueri *et al.* (2017), que ressalta a importância de adicionar co-substratos alternativos para o tratamento de digestão anaeróbica de resíduos alimentares para longos períodos de operação, testando resíduos com relação C/N 18,81, abaixo do limite mínimo desejável para digestão anaeróbica, como observado tratamento 1 do presente trabalho.

Por outro lado, a dificuldade dos microorganismos em biodigerir substratos mais ricos em lignina e celulose, como os presentes no tratamento 3, pode dificultar significativamente sua biodigestão, visto que este componente oferece resistência estrutural à planta e proteção contra-ataques microbianos, pois a estrutura dos resíduos vegetais permite que o material intracelular permaneça protegido da ação microbiana pelo elevado teor de lignina (TORRECILHAS *et al.*, 2019; PAUL; DUTTA, 2018; MATA-ALVAREZ, 2011). Cremonez *et al.* (2013) também ressaltam que a biodegradabilidade do material lignocelulósico é afetada em virtude da presença da lignina como revestimento da celulose e hemicelulose. Vale mencionar alguns fatores fundamentais

para se determinar a velocidade da taxa de hidrólise no processo de biodigestão, tais como: área superficial para as reações enzimáticas, tamanho das partículas, teor de lignina e afins.

Então, ainda que os materiais lignocelulósicos apresentam alto potencial na produção de gás metano, torna-se válida a realização de pré-tratamento no material para a quebra de estruturas complexas para àquelas mais simples, para melhorar a eficiência do processo.

Assim, os resultados obtidos indicam que a facilidade de degradação do substrato seja, pelo menos em operações de curta duração, mais relevante para a produção de biogás que uma relação C/N adequada. Corrobora com essa afirmação o fato de não ter havido diferenças significativas entre a produção de biogás entre os tratamentos 1 e 2, mesmo com o tratamento 2 contando com C/N mais adequada.

De qualquer forma produção de biogás do tratamento 3 foi superior aos 0,5 L de biogás / gsv descritos em Rajendran *et al*, (2013) como a produção média aceitável para resíduos do gênero, atestando as condições experimentais utilizadas e a viabilidade em se digerir as três composições de resíduos testadas.

6 CONCLUSÕES PRELIMINARES

Acredita-se que estratégias de biodigestão anaeróbica, pelo menos em pequena escala e de curta duração, não sejam tão suscetíveis a variações de relação C/N, permitindo que geradores que não tenham fontes de carbono disponíveis possam biodigerir restos de alimentos sem distúrbios metabólicos e/ou problemas de baixa produtividade em seus biodigestores.

Sugere-se que sejam realizados outros testes, a fim de definir parâmetros de carga orgânica por litro de inóculo disponível, considerando também a utilização exclusiva de restos de alimentos e restos de alimento e papel toalha, fornecendo parâmetros para que tais resíduos sejam tratados e aproveitados energeticamente in loco, sem a dependência de carbono proveniente de podas vegetais, o que muitas vezes é um fator limitante em ambientes tipicamente urbanos, onde situam-se geradores como escolas, shoppings, condomínios, restaurantes e outros.

REFERÊNCIAS

ABRELPE, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2020. ABRELPE, São Paulo, 2020. Disponível em <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>> Acesso em: 18 jul. 2021.

ACHMAD K., YULI A., DIMAS F., OKI I. The effect of C/N ratios of a mixture of beef cattle and water hyacinth (*Eichornia crassipes*) on the quality of biogás and sludge. *Lucrări Științifice*. Vol, 55. p. 117 – 120, 2016.

ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20292/3/Produ%C3%A7%C3%A3oBiog%C3%A1sRes%C3%ADduos.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

BRASIL, 2019. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 244 p. : il.

CARDOSO, B. M. **Uso da biomassa como alternativa energética**. 2012. 122 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CREMONEZ, P. A. *et al.* BIODIGESTÃO ANAERÓBIA NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS¹. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 2, p. 21-35, 2013.

DIN EN 14346, 2006, Characterization of waste - Calculation of dry matter by determination of dry residue or water content. STANDARD by DIN-adopted European Standard, 03/01/2007 in English, German.

DIN EN 15169, 2007, Characterization of waste - Determination of loss on ignition in waste, sludge and sediments. STANDARD by DIN-adopted European Standard, 05/01/2007.

FERNANDES, F. G. **Disposição final dos resíduos sólidos da cidade de Sousa - PB: impactos ambientais**. 2018. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/7917/FRANCIHELLE%20GOMES%20FERNANDES.%20TCC.%20LICENCIATURA%20EM%20GEOGRAFIA.2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 23 jul. 2021.

GUERI, Matheus Vitor Diniz et al. Digestão anaeróbia de resíduos alimentares utilizando ensaios bmp. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 08-16, 2017.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

GUARINO G., CLAUDIA C., FILOMENA DI C., STEFANIA P., BIAGIO M., MARIO M. Does the C/N ratio really affect the Bio-methane Yield? A three years investigation of Buffalo Manure Digestion. *Chemical Engineering Transactions*. Vol. 49, p.463-468, 2016.

IPEA, **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. Apenas 13% dos resíduos sólidos urbanos no país vão para reciclagem. IPEA, 2017. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29296#:~:text=Os%20dados%20ainda%20revelam%20a,%2C1%25%20de%20outros%20materiais.>. Acesso em: 18 jul 2021.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. V. Tecnologias para o tratamento de resíduos de animais. In: *Gestão ambiental na agropecuária*. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. p. 235-283.

LIMA JR., G. S. L. **Estratégias de compostagem como pré-tratamento de resíduos sólidos orgânicos**. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 198 p, 2015.

MACHADO, Francisca Lívia de Oliveira *et al.* Valorização dos resíduos orgânicos através da biodigestão anaeróbia com a utilização da análise multivariada. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 4893-4903, jan. 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23101/18556>. Acesso em: 12 ago. 2021.

MAHLER, C. F. **Lixo Urbano**. 1ª ed. Rio de Janeiro, Ed. Revan, 2012.

MATA-ALVAREZ, J. **Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes**. Department Of Chemical Engineering Of Barcelona, Barcelona, Spain: Iwa Publishing, 2011. 323 p.

OLIVEIRA, M. E. B. **Estudo de caso para gerenciamento de resíduos industriais em uma empresa no Vale do Paraíba**. 2019. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/3356/1/Maria%20Eduarda.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

PAUL, S.; DUTTA, A. Challenges and opportunities of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 130, p. 164-174, 2018.

PAVAN, P. *et al.* Two-phase anaerobic digestion of source sorted OFMSW (organic fraction of municipal solid waste): performance and kinetic study. *Water science and technology*, v. 41, n. 3, p. 111-118, 2000.

PRATES, L. F. S.; PIMENTA, C. F.; RIBEIRO, H. F. Alternativas tecnológicas para tratamento de resíduos sólidos urbanos. **APPREHENDERE-Aprendizagem & Interdisciplinaridade**, v. 1, n. 2-especial, 2019.

RAJENDRAN, K., ASLANZADEH, S., JOHANSSON, F., et al., “Experimental and economical evaluation of a novel biogas digester”. *Energy Conversion and Management*, v.74, pp. 183–191,2013.

RICHARD, T.; TRAUTMANN, N. **C/N Ratio**. Disponível em: http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html. Acesso em: 25 jun. 2021.

SILVA, J. P. *et al.* Comparação da produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de diferentes tipos de lodo. *Scientia cum Industria*, v. 4, n. 2, p. 69-73, 2016.

SILVA, Wanderson Gomes da. **Produção de biogás e biofertilizante a partir da digestão anaeróbia de cama de frango**. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019. Disponível em: <http://umbu.uft.edu.br/bitstream/11612/1448/1/Wanderson%20Gomes%20da%20Silva%20-%20Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. 4.ed. W. H. Freeman and Co, 937p, 2012.

TANIMU M., TINIA I., RAZIF M., e AZNI I. Effect of Carbon to Nitrogen Ratio of Food Waste on Biogas Methane Production in a Batch Mesophilic Anaerobic Digester. *International Journal of Innovation, Management and Technology*. Vol. 5, No. 2. P 116 – 119, 2014.

TORRECILHAS, A. R. *et al.* Análise dos pré-tratamentos de resíduos vegetais na produção de metano em reatores de biodigestão anaeróbia. In: ENEGEP 2019 - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 39., 2019, Santos. Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Santos: Enegep 2019 - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2019. p. 0-0. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/publicacoes/artigo.asp?e=enegep&a=2019&c=38992>. Acesso em: 23 jul. 2021.

TREVISAN, V.; MONTEGGIA, L. O. Produção de biogás a partir de efluente da suinocultura utilizando digestão anaeróbia em dois estágios. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS. 2009. p. 264-268.

VICTORINO, A. **Potencial da digestão anaeróbica na gestão de resíduos e produção de energia renovável: um estudo de caso**. 2017. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/31482>. Acesso em: 23 jul. 2021.

WANG, P. *et al.* Microbial characteristics in anaerobic digestion process of food waste for methane production—A review. *Bioresource technology*, v. 248, p. 29-36, 2018.