

ANÁLISE DA PERFORMANCE DO RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO URBANO QUANTO A PRODUÇÃO DE BIOGÁS NAS FASES MESOFÍLICA E TERMOFÍLICA**Maíra Post Müller*, Munique Marder, Odorico Konrad, Eugênia Vargas Hickmann, Maico Ismael Klein.**

*Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES. E-mail: maira.muller@universo.univates.br

RESUMO

Devido a escassez dos combustíveis fósseis, a busca por fontes renováveis de energia de baixo custo tem sido uma realidade no presente momento (Toledo-Cervantes et. al., 2020). O biogás, consequência da digestão anaeróbia, é uma dessas fonte (Mirmasoumia, Ebrahimib, Saraya, 2018). A digestão anaeróbia é normalmente feita sob condições mesofílicas (30-40°C) (Shi et. al., 2018) podendo também acontecer em temperaturas termofílicas (50-60°C) (Arras et. al., 2019). No Resíduo Sólido Orgânico Urbano (RSU), a metodologia de digestão anaeróbia é utilizada em diferentes partes do mundo com intuito de reduzir impactos ambientais futuros e recuperação de energia (Beevi, Madhu, Sahoo, 2015). Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de produção de biogás e metano de resíduos sólidos orgânicos urbanos do município de Maceió/AL em ambiente com temperaturas controladas de 37° C e 55° C. O estudo foi conduzido no Centro de Pesquisa em Energias e Tecnologias Sustentáveis - CPETS, vinculado ao Parque Científico e Tecnológico da UNIVATES (TECNOVATES). Os testes experimentais foram realizados em escala laboratorial, sendo os ensaios de digestão anaeróbia conduzidos em regime de batelada, empregando a normativa alemã VDI 4630 - (2006). Utilizaram-se reatores de 1L com 500g de substrato (amostra + inóculo) e foram executados dois experimentos, o primeiro utilizou-se a temperatura mesofílica (37 °C) e o segundo com temperatura termofílica (55 °C). A produção de biogás foi de 6.572,7 mL na condição mesofílica e 8.775,16 mL na condição termofílica. O RSU obteve um PBB 966,52 mL_{Biogás}.gSV⁻¹ e um PBM de 601,15 mL_{Biogás}.gSV⁻¹ na condição mesofílica e na condição termofílica o PBB foi de 1.296,44 mL_{Metano}.gSV⁻¹ e o PBM foi de 658,52 mL_{Metano}.gSV⁻¹. Com isso, pode-se concluir que o substrato mostrou uma produção satisfatória em ambas as condições, tendo maior rendimento em temperaturas mais elevadas.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Metano, Biomassa, Temperatura.**ABSTRACT**

Due to the scarcity of fossil fuels, the search for renewable and low-cost sources of energy has started (Toledo-Cervantes et. Al., 2020). Biogas, a consequence of anaerobic digestion, is one of these sources (Mirmasoumia, Ebrahimib, Saraya, 2018). Anaerobic digestion is usually handled in mesophilic conditions, with temperatures between 30-40 ° C, however, it can also be manipulated in thermophilic conditions (50-60 ° C) (Wu et. Al., 2020). In Urban Organic Solid Waste (USW), this methodology is applied in different parts of the world, with the aim of reducing future environmental impacts, energy recovery, as well as stabilizing and reducing organic matter before disposal (Beevi, Madhu, Sahoo, 2015). Therefore, the present work aims to evaluate the potential for biogas and methane production from organic solid urban waste in the city of Maceió/AL in an environment with a controlled temperature of 37 °C and 55 °C. The study was conducted at the Research Center for Sustainable Energy and Technology - CPETS, linked to the UNIVATES Science and Technology Park (TECNOVATES). The experimental tests were carried out on a laboratory scale, and the anaerobic digestion tests were conducted in batch mode, using the German standard VDI 4630 - (2006). Reactors of 1L were used with 500 g of substrate (sample + inoculum). Two different experiments were performed, the first was used at mesophilic temperature (37 °C), the second with thermophilic temperature (55 °C). In the mesophilic condition the biogas production was 6,572.7 mL and in the thermophilic condition 8,775.16 mL. The USW obtained a BBP of 966.52 mL_{BIOGÁS}.gSV⁻¹ and a BMP of 601.15 mL_{BIOGÁS}.gSV⁻¹ in the mesophilic condition and in the thermophilic condition the BBP was 1,296.44 mL_{BIOGÁS}.gSV⁻¹ and the BMP was 658,52 mL_{BIOGÁS}.gSV⁻¹. Due to that, for the conclusion, the substrate showed a satisfactory production in both conditions, having higher yield at higher temperatures.

KEY WORDS: Biogas, Methane, Biomass, Temperature.**INTRODUÇÃO**

O rápido crescimento populacional causa impasses como a produção de amplas quantidades de resíduos e estresse de recursos naturais. Para suplantarmos problemas ambientais e econômicos, busca-se diferentes fontes de energia renovável. A transição da utilização dos combustíveis fósseis pelos renováveis pode reduzir as consequências do efeito estufa, apesar de não existir prazo para fim dessa utilização. A energia oriunda de biomassa é uma significativa fonte de energia renovável que inclui resíduos orgânicos, adubos animais, resíduos de alimentos, lodo de esgoto e resíduos

agrícolas (Yılmaz e Şahan, 2020). O biogás, consequência da digestão anaeróbica tem como proposta tratar resíduos orgânicos e produzir energia limpa (Riggio et. al., 2017). Com a ajuda de microrganismos, é possível decompor a matéria orgânica complexa em anaerobiose para produção de ácidos graxos, dióxido de carbono e hidrogênio, e como resultado a geração de metano por metanogênicos (Liu et. al., 2019).

A digestão anaeróbica é usualmente empregada em condições mesofílicas, com temperaturas entre 30-40 ° C, onde seu desempenho é estável, ao mesmo tempo que a condição termofílica (50-60 ° C), tem maior eficiência de degradação da matéria orgânica, eliminação de patógenos e uma menor viscosidade (Wu et. al., 2020).

No ponto de vista de saúde e segurança, o gerenciamento correto dos resíduos sólidos orgânicos urbanos (RSU) se faz importante. A competência dos meios de gerenciamento, como coleta, transporte e descarte, se direciona diretamente com a diminuição das emissões de gases que causam o efeito estufa (Costa e Dias, 2020). Dentro das cidades os RSU são vistos como um problema, sendo os “lixões” ilegais (depósitos de resíduos não controlados) um exemplo de uma persistente dificuldade, que tendem a poluir visualmente, além do ar e solo, assim como colaboram para riscos sociais, tais como catadores que trabalham em circunstâncias inadequadas (Da Silva, Marques Prietto e Korf, 2019). Feitosa et. al. (2016) encontrou valores de 47,25% de parcela orgânica em RSU, e apesar de facilmente biodegradáveis, são usualmente destinados a aterros sanitários. A digestão anaeróbica da fração orgânica dos RSU é utilizada em diferentes partes do mundo, com intuito de reduzir impactos ambientais futuros, recuperação de energia, assim como estabilizar e reduzir a matéria orgânica antes do descarte (Beevi, Madhu e Sahoo, 2015).

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de produção de biogás e metano de resíduos sólidos orgânicos urbanos do município de Maceió/AL em ambiente com temperatura controlada de 37° e 55°.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido no Centro de Pesquisa em Energias e Tecnologias Sustentáveis - CPETS, vinculado ao Parque Científico e Tecnológico da UNIVATES (TECNOVATES). O resíduo sólido orgânico urbano foi selecionado de uma fração do resíduo destinado ao aterro sanitário da cidade de Maceió – AL, a segregação da amostra foi realizada pelo método de quarteamento conforme descrito por Soares (2011). Os testes experimentais foram realizados em escala laboratorial, sendo os ensaios de digestão anaeróbica conduzidos em regime de batelada, empregando a normativa alemã VDI 4630 - Fermentation of organic materials: Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data and fermentation tests (2006), que estabelece que a relação de sólidos voláteis da amostra e do inóculo seja de 2:1 e o teor de sólidos totais da mistura não deve ser maior que 10%. As análises de sólidos totais e voláteis foram realizadas de acordo a metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Os experimentos de digestão anaeróbica para cada substrato avaliado foram concluídos quando o volume diário de biogás produzido pela triplicata apresentou-se menor que 1% do volume total acumulado, por no mínimo três dias (VDI 4630, 2006). Foram utilizados reatores de 1 L com 500 g de mistura (amostra + substrato) para cada experimento, conforme Figura 1.

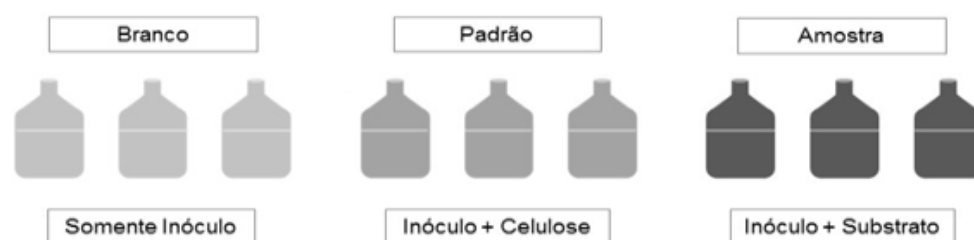


Figura 1: Composição mínima de triplicatas em um ensaio de digestão anaeróbica. Fonte: CPETS - Centro de Pesquisa em Energias e Tecnologias Sustentáveis.

O monitoramento do experimento foi realizado através do sistema automatizado de medição de vazão (SAMB), onde o biogás gerado durante a degradação da matéria orgânica é naturalmente guiado por mangueiras flexíveis que conectam os reatores de vidro aos medidores de vazão, compostos por tubos em formato de U preenchidos por um fluido (Figura 2). À medida que ocorre a entrada de biogás nos tubos o fluido é deslocado e esse movimento é detectado através de um sensor fotoelétrico instalado em cada tubo, conforme descrito por Konrad et al. (2016). Os registros, captados pelo sistema, foram acondicionados em um banco de dados, permitindo o acesso remoto e a exportação de valores dos volumes diários de biogás produzido para planilhas de controle.



Figura 2: Incubadora bacteriológica e sistema automatizado de medição de biogás - SAMB. Fonte: CPETS - Centro de Pesquisa em Energias e Tecnologias Sustentáveis.

A avaliação do metano em cada reator foi realizada diariamente durante todo período do experimento por meio de um sensor específico (Advanced Gasmittor - PRONOVA) que identifica a molécula de CH_4 presente no volume de biogás inserido, expressando o resultado em percentual (%). Este percentual, combinado com o volume de biogás monitorado pelo sistema automatizado possibilita a identificação do volume de metano produzido pelos substratos.

O experimento foi realizado em duas condições, na primeira os reatores foram mantidos em incubadora bacteriológica a temperatura mesofílica (37°C), o segundo em temperatura termofílica, com aumento gradual de 5°C , por 5 dias, até atingir a temperatura de 55°C .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um parâmetro que altera o comportamento da digestão anaeróbica é o teor de sólidos totais (ST) da amostra, influenciando principalmente a produção de biogás e metano (Yi et. al., 2014). Os sólidos voláteis (SV) são a parte na qual reflete na conversão de biogás, pois representa a matéria orgânica passível de biodegradação. Como pode ser observado na Tabela 1, o substrato apresentou um elevado teor de sólidos voláteis, podendo se comparar ao estudo realizado por Qian et. al. (2016) que atingiu aproximadamente 65% SV. O pH da amostra estava em faixa neutra, ideal para um processo de digestão anaeróbica.

Tabela 1 – Caracterização da amostra.

Amostra	ST (%)	SV (%)	pH
Resíduo Sólido Orgânico Urbano	$22,04 \pm 1,03$	$79,14 \pm 1,37$	7,06

O gráfico 1 representa a comparação da produção de biogás em volume (mL) nos dois experimentos. O experimento mesofílico, onde os reatores ficaram incubados a 37°C , é possível visualizar um volume de 6.572,7 mL, já onde a temperatura foi de 55°C (termofílica), sua produção foi de 8.775,16 mL.

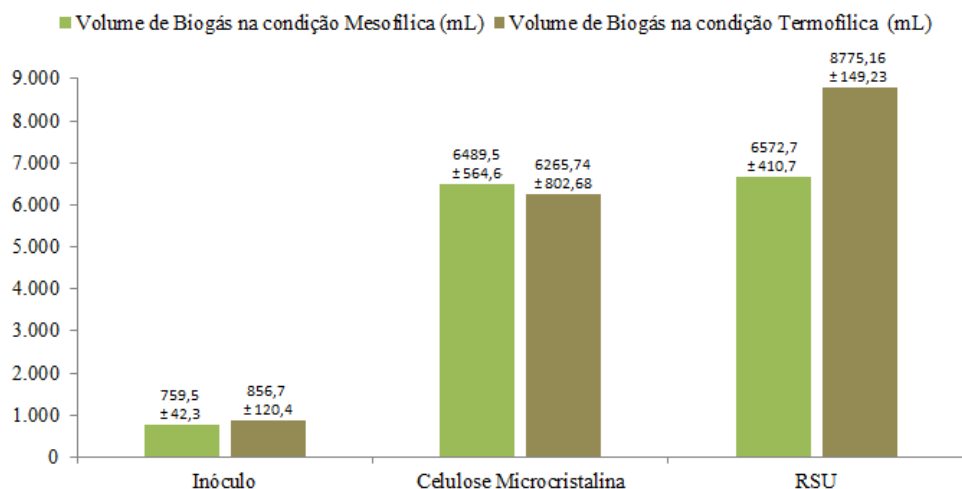


Gráfico 1: Comparação da produção em volume de biogás nas condições mesofílica e termofílica. Fonte: Da autora.

O teste de Potencial Bioquímico de Biogás (PBB) e Metano (PBM) é um recurso capaz de avaliar o potencial de degradação de um substrato estipulado quanto ao seu potencial de degradação através da ação de microrganismos anaeróbios e conversão da matéria orgânica volátil em biogás. Todos os testes de PBB e PBM manifestaram resultados satisfatórios devido ao alto teor de sólidos voláteis na amostra. Ainda assim, pode ser verificado (Tabela 2) que a condição termofílica teve desempenho superior, sendo este de $1.296,44 \text{ mL}_{\text{Biogás.gSV}^{-1}}$, enquanto que na condição mesofílica atingiu-se um PBB de $966,52 \text{ mL}_{\text{Biogás.gSV}^{-1}}$. Analisando os resultados de PBM obtidos nos ensaios de digestão anaeróbia, é possível verificar que o melhor resultado atingido foi na condição termofílica com $658,52 \text{ mL}_{\text{Metano.gSV}^{-1}}$, entretanto, na condição mesofílica obteve-se um potencial semelhante, de $601,15 \text{ mL}_{\text{Metano.gSV}^{-1}}$. Assim como para PBB e PBM, o rendimento de biogás e metano foram mais satisfatórios na condição onde se utilizou temperatura superior. Em estudo semelhante, Silva et. al. (2020) analisou o potencial para produção de biogás de resíduos sólidos orgânicos domésticos em temperatura mesofílica e obteve resultados de $817,70 \text{ mL}_{\text{Biogás.gSV}^{-1}}$ para PBB e $436,04 \text{ mL}_{\text{Metano.gSV}^{-1}}$ para PBM, e valores de $180,2 \text{ m}^3_{\text{Biogás.tonSV}^{-1}}$ para o rendimento de biogás e $96,09 \text{ m}^3_{\text{Metano.tonSV}^{-1}}$ para o rendimento de metano.

Avaliando os resultados de metano obtidos, pode-se observar que as duas condições obtiveram resultados adequados. A produção de metano foi maior na condição termofílica ($4.556,17 \text{ mL}$), contudo, na condição mesofílica atingiu-se o maior percentual de metano, 81,16 %. Resultado similar foi encontrado pelos os autores Qian et. al. (2016), com percentuais de metano de aproximadamente 60-70% em temperatura mesofílica.

Tabela 2 – Valores de PBB, PBM e rendimento de biogás do RSU.

Condição	PBB ($\text{mL}_{\text{Biogás.gSV}^{-1}}$)	PBM ($\text{mL}_{\text{Metano.gSV}^{-1}}$)	Rendimento ($\text{m}^3_{\text{Biogás.tonSV}^{-1}}$)	Rendimento ($\text{m}^3_{\text{Metano.tonSV}^{-1}}$)	CH ₄ (mL Acumulado)	CH ₄ (% Máximo)
Mesofílica	$966,52 \pm 132,67$	$601,15 \pm 63,42$	$162,32 \pm 11,29$	$100,81 \pm 2,23$	$3.699,39 \pm 82,54$	81,16
Termofílica	$1.296,44 \pm 24,64$	$658,52 \pm 132,06$	$220,80 \pm 4,20$	$125,15 \pm 0,6$	$4.556,17 \pm 20,53$	77,41

CONCLUSÃO

O substrato demonstrou potencial energético satisfatório em ambas as condições, porém, em temperaturas mais elevadas o rendimento de biogás por tonelada de resíduo sólido orgânico urbano foi maior. Deste modo, utilizar temperatura termofílica com aumento gradual em sistema de digestão anaeróbia pode melhorar a eficiência na produção de biogás e metano. Em trabalhos posteriores serão realizados estudos com diferentes substratos utilizando as mesmas condições, a fim de comparação de resultados, e será avaliado o potencial dos mesmos substratos em temperatura termofílica ($55 \text{ }^\circ\text{C}$) sem aumento de temperatura gradual.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. Washington DC, USA.
2. ARRAS, W.; HUSSAIN, A.; HAUSLER, R.; GUIOT, S. R. Mesophilic, thermophilic and hyperthermophilic acidogenic fermentation of food waste in batch: Effect of inoculum source. **Waste Management**, v. 87, p. 279–287, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X19300820>> Acesso em: 30 mai. 2020.
3. BEEVI, B. Sajeena; MADHU, G.; SAHOO, Deepak Kumar. Performance and kinetic study of semi-dry thermophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. **Waste Management**. Volume 36, páginas 93-97, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14004462>> Acesso em: 12 mar 2020.
4. DA SILVA, L.; MARQUES PRIETTO, P. D.; KORF, E. P. Sustainability Indicators For Urban Solid waste Management IN Large And Medium-Sized Worldwide Cities. **Journal of Cleaner Production**, 117802, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619326629>> Acesso em: 29 mai. 2020.
5. I.M. Costa, M. Ferreira Dias, Evolution on the solid urban waste management in Brazil: A portrait of the Northeast Region, **Energy Reports**, Volume 6, P. 878-884, ISSN 2352-4847, 2020. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719312429>> Acesso em: 25 mai. 2020.
6. FEITOSA, Anny Kariny; BARDEN, Júlia Elisabete; HASAN, Camila; KONRAD, Odorico. HOUSEHOLD SOLID URBAN WASTE MANAGEMENT AND DISPOSAL: CASE STUDY IN THE CITY OF JUAZEIRO DO NORTE – CE, IN THE NORTHEAST OF BRAZIL. **Procedia Environmental Science, Engineering and Management** 3. Páginas 65 – 67. 2016.
7. Figura 1: Composição mínima de triplicatas em um ensaio de digestão anaeróbia. Fonte: CPETS - Centro de Pesquisa em Energias e Tecnologias Sustentáveis.
8. Figura 2: Incubadora bacteriológica e sistema automatizado de medição de biogás - SAMB. Fonte: CPETS - Centro de Pesquisa em Energias e Tecnologias Sustentáveis.
9. J, YI; B, DONG; J, JIN; X, DAI. Effect of Increasing Total Solids Contents on Anaerobic Digestion of Food Waste under Mesophilic Conditions: Performance and Microbial Characteristics Analysis. **PLOS ONE**. Volume 9, 2014. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0102548>> Acesso em 15 mar 2020.
10. KONRAD, O.; AKWA, J. V.; KOCH, F. F.; LUMI, M.; TONETTO, J. F. Quantification and characterization of the production of biogas from blends of agro-industrial wastes in a large-scale demonstration plant. **Acta Scientiarum Technology** (Online), v. 38, p. 415-421, 2016.
11. LIU, Yang; FANG, Junnan; TONG, Xinyu; HUAN, ChenChen; JI, Gaosheng; ZENG, Yong; XU, Lishang; YAN, Zhiying. Change to biogas production in solid-state anaerobic digestion using rice straw as substrates at different temperatures. **Bioresource Technology**. Volume 293, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419312969>> Acesso em: 15 mar 2020.
12. MIRMASOUMI, Siamak; EBRAHIMI, Sirous; SARAY, Rahim Khoshbakhti. Enhancement of biogas production from sewage sludge in a wastewater treatment plant: Evaluation of pretreatment techniques and co-digestion under mesophilic and thermophilic conditions. **Energy**. Volume 157, páginas 707-717, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218310569>> Acesso em: 14 mar 2020.
13. QIAN, M. Y.; LI, R. H., LI, J.; WEDWITSCHKA, H.; NELLES, M.; STINNER, W.; ZHOU, H. J. Industrial scale garage-type dry fermentation of municipal solid waste to biogas. **Bioresource Technology**, v. 217, pag. 82–89, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416302139>> Acesso em 29 mai. 2020.
14. RIGGIO, S.; HERNANDÉZ-SHEK, M.A.; TORRIJOS, M.; VIVES, G.; ESPOSITO G.; VAN HULLEBUSCH, E.D.; STEYER, J.P.; ESCUDIÉ, R. Comparison of the mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of spent cow bedding in leach-bed reactors. **Bioresource Technology**. Volume 234, páginas 466-471, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417301797>> Acesso em: 12 mar 2020.
15. SHI, X.; GUO, X.; ZUO, J.; WANG, Y.; ZHANG, M. A comparative study of thermophilic and mesophilic anaerobic co-digestion of food waste and wheat straw: Process stability and microbial community structure shifts. **Waste Management**, v. 75, p. 261–269, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X18300709>> Acesso em: 30 mai. 2020.
16. SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; MARDER, M.; ARAUJO, L. G. S.. Resíduos sólidos orgânicos domésticos como substrato potencial para produção de biogás. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.2, p.204-212, 2020. Disponível em: <<https://sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.002.0022/1947>> Acesso em: 29 mai. 2020.



17. SOARES, E. L. S. F. Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
18. TOLEDO-CERVANTES, Alma; VILLAFÁN-CARRANZA, Francisco; ARREOLA-VARGAS, Jorge; RAZO-FLORES, Elías; MÉNDEZ-ACOSTA, Hugo Oscar. Comparative evaluation of the mesophilic and thermophilic biohydrogen production at optimized conditions using tequila vinasses as substrate. **International Journal of Hydrogen Energy**. Março de 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920305814>> Acesso em: 14 mar 2020.
19. VDI 4630. **Fermentation of organic materials**. Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. 92 p. Germany: Verein Deutscher Ingenieure – VDI, 2006.
20. WU, Zong-Lin; LIN, Zhi; SUN, Zhao-Yong; GOU, Min; XIA, Zi-Yuan; TANG, Yue-Qin. A comparative study of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of municipal sludge with high-solids content: Reactor performance and microbial Community. **Bioresource Technology**. Volume 302, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852420301206>> Acesso em: 13 mar 2020.
21. YILMAZ, Ş.; ŞAHAN, T. Utilization of pumice for improving biogas production from poultry manure by anaerobic digestion: A modeling and process optimization study using response surface methodology. **Biomass and Bioenergy**, v. 138, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953420301355>> Acesso em 29 mai. 2020..