

## Influência de diferentes inóculos na geração de biogás dos resíduos de tomate

Mundialmente, a questão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tem sido amplamente discutida a partir de vários aspectos, desde a coleta até a destinação final em práticas ou tecnologias de tratamento. Dentre os diferentes tipos de resíduos tem-se a fração orgânica, que possui um alto potencial de biogás com viabilidade energética. A quantidade de biogás produzido a partir da biodegradação anaeróbia de resíduos orgânicos varia em função do tipo de resíduo e da sinergia com o tipo de inóculo utilizado. Neste sentido, a presente pesquisa avaliou o volume acumulado de biogás e a variação da taxa de produção de biogás na configuração em resíduos de tomate com o lodo, resíduos de tomate com o rúmen bovino e resíduos de tomate com uma mistura de rúmen bovino e lodo, ao longo de 120 dias de experimento. Para tanto, foram realizados ensaios de Biochemical Methane Potential (BMP). Os resultados obtidos demonstraram que a maior taxa de produção de biogás ocorre nas primeiras 24h e que as médias da taxa de produção de biogás, em 120 dias de monitoramento, não diferem significativamente, independentemente do tipo de inóculo utilizado juntamente com os resíduos de tomate como substrato. O maior volume de biogás produzido foi para a combinação de tomate com lodo (422,15 NmL), seguido por tomate com lodo e rúmen (327,60 NmL) e tomate com rúmen (255,01 NmL), sendo os primeiros 7 dias cruciais para determinar o volume acumulado ao final dos 120 dias de monitoramento.

**Palavras-chave:** Biodegradação; Taxa de Geração; Reatores de Bancada; Digestão Anaeróbia; Teste de BMP.

## Influence of different inoculants on the generation of biogas from tomato residues

Worldwide, the issue of urban solid waste (MSW) has been widely discussed from various aspects, from collection to final destination in treatment practices or technologies. Among the different types of waste, there is the organic fraction, which has a high potential for biogas with energy viability. The amount of biogas produced from the anaerobic biodegradation of organic waste varies depending on the type of waste and the synergy with the type of inoculum used. In this sense, the present research evaluated the accumulated volume of biogas and the variation of the biogas production rate in the configuration in tomato residues with the sludge, tomato residues with the bovine rumen and tomato residues with a mixture of bovine rumen and sludge, over 120 days of experiment. For this purpose, Biochemical Methane Potential (BMP) tests were carried out. The results showed that the highest rate of biogas production occurs in the first 24 hours and that the averages of the rate of biogas production, in 120 days of monitoring, do not differ significantly, regardless of the type of inoculum used together with the tomato residues as substrate. The largest volume of biogas produced was for the combination of tomato with sludge (422.15 NmL), followed by tomato with sludge and rumen (327.60 NmL) and tomato with rumen (255.01 NmL), with the first 7 days crucial to determine the accumulated volume at the end of the 120 days of monitoring.


**Keywords:** Biodegradation; Generation Rate; Benchtop Reactors; Anaerobic Digestion; BMP Test.

Topic: **Engenharia Ambiental**


Received: **09/12/2022**

Approved: **26/12/2022**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Ericka Lima de Brito**   
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3009365112750826>  
<http://orcid.org/0000-0002-0224-8427>  
[erickaplb@gmail.com](mailto:erickaplb@gmail.com)


**Talita Vasconcelos de Lucena**  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3190400186743266>  
[lucena.tali@gmail.com](mailto:lucena.tali@gmail.com)

**Alessandra Lee Barbosa Firmo**   
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2847904182166714>  
<http://orcid.org/0000-0003-1127-2805>  
[alessandra.lee@gmail.com](mailto:alessandra.lee@gmail.com)

**Daniela Santos**  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
[daniela.santos@gmail.com](mailto:daniela.santos@gmail.com)

**Maria Odete Holanda Mariano**   
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5767436323453224>  
<http://orcid.org/0000-0001-6027-0510>  
[odete.mariano@ufpe.br](mailto:odete.mariano@ufpe.br)

**Maria de Fátima Gonçalves**  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
[mfgo2014@gmail.com](mailto:mfgo2014@gmail.com)

**José Fernando Thomé Jucá**   
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4911355639660442>  
<http://orcid.org/0000-0002-8956-7905>  
[juah@ufpe.br](mailto:juah@ufpe.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.012.0010

### Referencing this:

BRITO, E. P. L.; LUCENA, T. V.; FIRMO, A. L. B.; SANTOS, D.; MARIANO, M. O. H.; GONÇALVES, M. F.; JUCÁ, J. F. T.. Influência de diferentes inóculos na geração de biogás dos resíduos de tomate. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.12, p.99-106, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.012.0010>

## INTRODUÇÃO

Em 2011, cerca de 1.728 milhões de toneladas de frutas e legumes foram produzidos no mundo, deste total, um terço foi desperdiçado, gerando um ônus de US \$ 1 trilhão (EDWIGES et al., 2018; FAO, 2014). No Brasil, o segmento de frutas e hortaliças possui um percentual de desperdício de quase 35% do total produzido (SOARES et al., 2018). Dentre os produtos hortifrutigranjeiros mais cultivados e comercializados, o tomate (*Solanum lycopersicum*) se destaca com uma produção mundial de mais de 180,5 milhões de toneladas/ano (FAO, 2021).

A alta umidade do bagaço de tomate fresco, a presença de níveis consideráveis de nutrientes e a elevada taxa de biodegradação, faz com que o processo de digestão anaeróbia deste tipo de resíduo seja de extremo interesse, pois tem potencial para produzir quantidades relevantes de biogás, além de poder ser utilizado como um biofertilizante rico em nutrientes (SANTOS et al., 2018; ASQUER et al., 2015; SCANO et al., 2014; FĂRÇAŞ et al., 2019).

Diante do exposto, o objetivo da pesquisa foi avaliar o potencial de produção de biogás a partir do volume acumulado e da variação da taxa de produção ao longo de 120 dias de monitoramento através do ensaio de *Biochemical Methane Potential (BMP)*. Especificamente, buscou-se comparar a taxa de produção de biogás dos sistemas: 1-tomate com lodo; 2- tomate com rúmen bovino; 3- tomate com lodo e rúmen bovino e identificar qual combinação tem maior potencial para geração de biogás.

## METODOLOGIA

A presente pesquisa é de natureza experimental com abordagem analítica.

### Caracterização do substrato e inóculos

Para avaliação do potencial de biodegradação do tomate foram utilizados resíduos de tomate provenientes do Centro de Abastecimento e Logística do Estado de Pernambuco (CEASA-PE), localizado no município de Recife, Estado de Pernambuco, Brasil. O lodo anaeróbio foi obtido em da Estação de Tratamento de Esgoto da Mangueira, localizada em Recife-PE, Brasil. O rúmen bovino foi obtido no Abatedouro do município de Escada – PE, Brasil. Para caracterização química do resíduo de tomate, foram realizados os ensaios analíticos, seguindo os parâmetros analíticos descritos no Quadro 1.

**Quadro 1:** Parâmetros referentes à caracterização química das amostras.

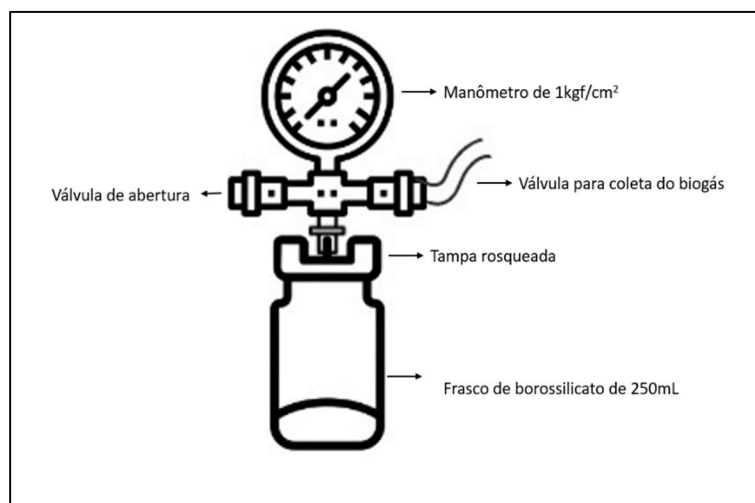
Parâmetro	Amostra	Unidade	Referência	Equipamento
pH	Resíduo de Tomate Lodo Anaeróbio Rúmen Bovino	-	Potenciométrico	pHmetro Digimed DM23
Umidade	Resíduo de Tomate Lodo Anaeróbio Rúmen Bovino	%	Adaptado de NBR 6457	Estufa Te-393/1-Mp
Sólidos Voláteis (SV)	Resíduo de Tomate Lodo Anaeróbio Rúmen Bovino	%	WHO (1979)	Mufla EDG 3000

Análise Elementar	Resíduo de Tomate	%	-	Analizador elementar, Carlo-Erba – Instruments, modelo EA 1110
Análise Bioquímica	Resíduo de Tomate	%	Método Van Soest	Determinador de fibras TE-149 - Tecnal

A determinação da umidade foi realizada considerando o método do peso úmido (NBR 6457 ABNT, 1986). Porém as amostras foram submetidas a 105°C em estufa de circulação forçada até a estabilização da massa (LIMA et al., 2002; VALENÇA et al., 2017). O procedimento foi realizado em triplicata e as amostras foram pesadas diariamente.

### Avaliação da produção de biogás por meio de ensaios de BMP

Os ensaios de Potencial Bioquímico do Metano (BMP) permitem avaliar a biodegradabilidade e a geração de biogás dos substratos. O experimento foi realizado na ausência de oxigênio e em condições ideais de umidade, temperatura, granulometria e a depender dos inóculos adotados, de uma boa flora de microrganismos e nutrientes disponíveis para o processo de digestão anaeróbia. O experimento foi realizado em batelada, por meio de frascos de borossilicato de 250mL que contêm nas tampas duas válvulas, sendo uma para a coleta do biogás e a outra acoplada ao manômetro de 1kgf/cm<sup>2</sup>, com escala de 0,01kgf/cm<sup>2</sup> a 0,02kgf/cm<sup>2</sup> (Figura 1).



**Figura 1:** Ilustração do reator utilizado nos ensaios de BMP.

Com o objetivo de assegurar a condição de anaerobiose do processo, os testes foram realizados através da injeção de ar comprimido proveniente do equipamento Tri-Flex 2, da marca ELE, para identificar possíveis pontos de entrada de ar. Para o preenchimento dos reatores foi utilizada as proporções de massa conforme Tabela 1.

Os reatores com pH ácido foram corrigidos com NaOH 30%. Após o preenchimento dos biorreatores com os substratos e o inóculo, os mesmos foram submetidos à circulação com nitrogênio visando retirar o oxigênio do interior dos frascos, garantindo assim a condição de anaerobiose, sendo a pressão inicial ajustada para aproximadamente 0,10 kgf/cm<sup>2</sup>. Visando evitar a incidência de luz, os biorreatores foram envolvidos com papel alumínio e ao final, incubados em estufa Tecnal TE-393/2 a uma temperatura constante de 37°C±2°C durante todo o experimento. O monitoramento da pressão interna foi realizado diariamente

através da leitura no manômetro acoplado nos biorreatores.

**Tabela 1:** Configurações utilizadas para os ensaios de BMP.

Configurações	Composição	Massa adicionada (g)	Headspace (ml)
TOM + LE	Lodo	50	200
	Resíduo	5	
	Bicarbonato de sódio	2	
TOM + RB	Rúmen	50	200
	Resíduo	5	
	Bicarbonato de Sódio	2	
TOM + LE + RB	Lodo	25	200
	Rúmen	25	
	Resíduo	5	
	Bicarbonato	2	

Legenda: TOM: Tomate; LE: Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto; RB: Rúmen Bovino.

O cálculo do volume de biogás foi realizado indiretamente, por meio da medição da pressão acumulada de biogás, obtida no monitoramento, a partir do cálculo de volume de biogás, conforme Equação 1 (IVANOVA et al., 2008):

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad \text{Equação: 1}$$

Considerando que o biogás gerado foi acumulado no volume do *headspace*, temos então a Equação 2:

$$(p_{atm} + \Delta P) \cdot V_{hs} = p_{atm} \cdot (V_{hs} + V_g) \quad \text{Equação: 2}$$

Onde,  
 $p_{atm}$ : pressão atmosférica em mbar  
 $\Delta P$ : aumento de pressão em mbar  
 $V_{hs}$ : volume de headspace  
 $V_g$ : volume do biogás gerado

Uma adaptação realizada por Firmo (2013), baseada em Ivanova et al. (2008), apresentada na Equação 3, priorizou a correção do volume medido para as condições de gás seco, conforme a CNTP, com temperatura pressão ambiente e valores de pressão de vapor ( $p_w$ ), sendo esta considerada como a medida da pressão parcial de valor na atmosfera e calculada de acordo com a temperatura ambiente, sendo a temperatura interna do biorreator (T) correspondente a 37 °C.

$$p_w = 0,61121 \cdot e^{\left(\frac{15,502 \cdot T}{240,97+T}\right)} \quad \text{Equação: 3}$$

As medidas de volume de biogás obtidos nos experimentos são padronizados nas condições da CNTP e expresso conforme Equação 4:

$$V'_g = V_g \cdot \frac{p_{atm}}{1013} \cdot \frac{273,2}{273,2+T} \cdot \left(1 - \left(\frac{p_w}{p_{atm}}\right)\right) \quad \text{Equação: 4}$$

Onde,  
 $p_w$  = pressão de vapor  
 $p_{atm}$  = pressão atmosférica  
 $V_g$  = volume de biogás gerado nas CNTP  
 $V'_g$  = volume de biogás medido na temperatura do ensaio

## Análise Estatística

Para comparar as taxas médias de produção de biogás foi aplicado o teste de normalidade (Shapiro-Wilk), seguido do teste de homogeneidade de variâncias (Brown-Forsythe). A partir destes resultados,

aplicou-se ANOVA seguido do teste *post-hoc* de Games-Howell. Todos os testes foram aplicados com um nível de significância de  $\alpha = 0,05$ . Os demais dados foram tratados por meio da estatística descritiva.

## RESULTADOS

### Resultados da caracterização do substrato de tomate

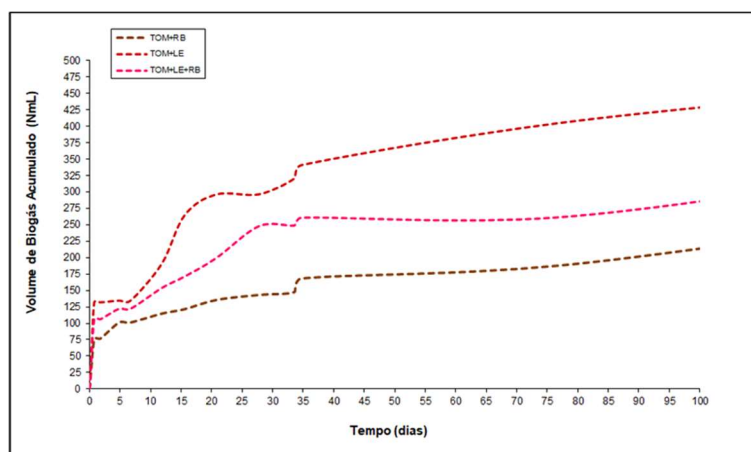
A Tabela 2 resume algumas das propriedades físicas e químicas dos resíduos de tomate estudados.

**Tabela 2:** Resultados da caracterização do substrato de tomate.

Parâmetro	Resíduo de Tomate
pH	5,27
Umidade (%)	94,96
Sólidos Voláteis (%)	86,88
Carbono (%)	34,48
Hidrogênio (%)	7,34
Nitrogênio (%)	1,91
Enxofre (%)	1,30
C:N	18,05
Celulose (%)	22,60
Hemicelulose (%)	2,69
Lignina (%)	6,95

### Volume acumulado de geração de biogás

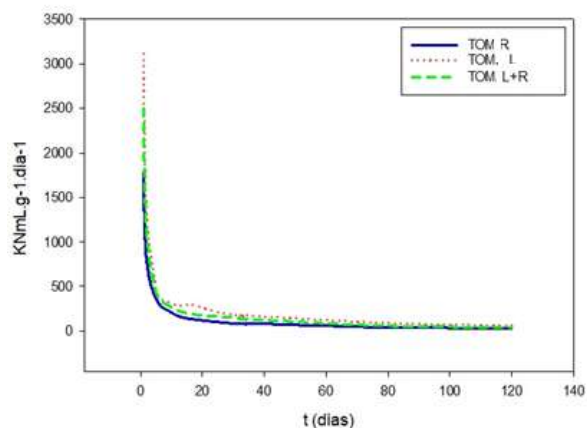
Os resultados de volume acumulado de biogás durante 120 dias monitoramento estão ilustrados no gráfico da Figura 2.



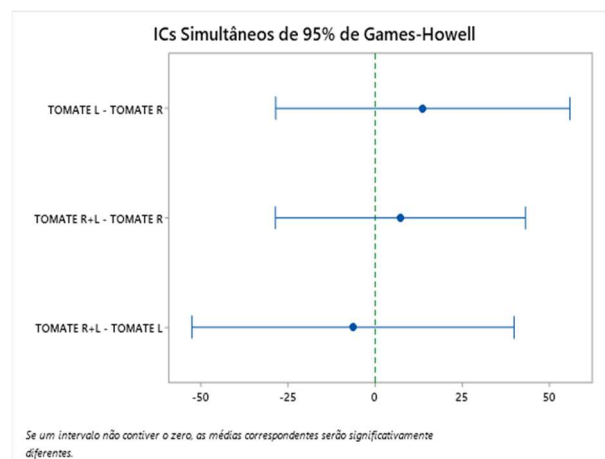
**Figura 2:** Volume acumulado de geração de biogás nas diferentes configurações.

### Taxa de geração de biogás

As curvas da taxa de geração de biogás monitorada por 120 dias podem ser observadas na Figura 3. Para comparar as variações das taxas médias de produção de biogás, foi realizada uma ANOVA, após testar a normalidade dos dados ( $p > 0,05$ ), seguido de um teste *post-hoc* de Games-Howell, substituído do teste Tukey para dados com variâncias heterogêneas ( $p < 0,05$ ), para encontrar onde estavam as diferenças (Figura 4).



**Figura 3:** Taxa média de geração de biogás em 120 dias.



**Figura 4:** Teste *post-hoc* de Games-Howell: comparação da taxa média de produção de biogás ao longo de 120 dias.

## DISCUSSÃO

### Discussão dos resultados da caracterização do substrato de tomate

Com base nos resultados da Tabela 2, observa-se que a média do teor de umidade foi de 94,96%, similar ao resultado obtido por Jahanbakhshi et al. (2019), que reportou um percentual de 94,29% e 5,70% de matéria seca. A fração orgânica apresentada pelos sólidos voláteis foi de 86,88%, valor condizente com Aziz et al. (2020), indicando um valor elevado e passível de ser biodegradado, podendo ser transformado em biogás. Porém, o teor ácido obtido (pH=5,27), também identificado por Martínez et al. (2017), apresenta-se abaixo da faixa ideal (pH=6,5-7,5) para a digestão anaeróbia (TCHOBANOGLOUS et al., 1993; CHERNICHARO, 1997; DEUBLEIN et al., 2008; WARD et al., 2008).

O fato de o pH do substrato não ser o ideal, justifica ainda mais a necessidade de utilização de inóculos para otimizar o processo de produção de biogás, haja vista o pH do lodo (pH=7,24) e do rúmen bovino (pH=7,31) estarem dentro da faixa ideal para catalisar a produção de biogás, conseqüentemente, são capazes de elevar o pH do substrato (TCHOBANOGLOUS et al., 1993).

Em relação aos resultados da análise elementar, o C (34,48%) foi o elemento químico que se apresentou em maior quantidade, o que já era esperado, haja vista ser o elemento químico em maior abundância nos compostos orgânicos. Segundo FNR (2013), após o C, o N é o segundo elemento químico mais importante para a formação de enzimas responsáveis pelo processo metabólico, entretanto, o excesso de nitrogênio pode causar um excesso  $\text{NH}_3$  e promover um colapso na proliferação de microrganismos. Portanto, indica-se que a relação C/N esteja entre 10-30. A partir deste referencial, a relação C/N dos resíduos de tomate apresentaram uma relação C/N de 18,05, sugerindo ser uma condição favorável à biodigestão.

A caracterização da fibra do substrato indicou um alto percentual de celulose (22,60%), seguido de lignina (6,95%) e hemicelulose (2,69%). Ao utilizar a proposição para análise do grau de biodegradabilidade na relação celulose/lignina (C/L) e celulose+hemicelulose/lignina ((C+H)/L), observa-se que para (C/L), o valor foi de 3,25 e para a relação ((C+H)/L) de 3,63, indicando uma elevada biodegradabilidade e possível conversão em biogás (FRANCOU, 2003). A dificuldade de converter a biomassa lignocelulósica em açúcares

fermentáveis deve-se principalmente aos percentuais de lignina, que em virtude da sua complexidade podem atuar como uma barreira física à degradação, tanto enzimática quanto microbiana (TAHERZADEH et al., 2008; BARLAZ, 2009).

### **Volume acumulado de geração de biogás**

A combinação que gerou mais biogás foi a mistura de tomate com lodo (422,15 NmL), seguido da mistura tomate com lodo e rúmen bovino (327,60 NmL) e tomate com rúmen bovino (255,01 NmL). Observa-se que a adição de lodo anaeróbio se mostrou mais eficiente do que as outras combinações para fins de volume acumulado.

### **Taxa de geração de biogás**

Observa-se que para todas as combinações de substrato e inóculos, a taxa máxima de geração de biogás ocorreu nas primeiras 24 horas após a incubação, seguindo uma tendência a estabilização e tendendo a 0 após o 35º dia, portanto, apesar do volume acumulado ter sido maior para combinação de tomate com lodo, os inóculos não são capazes de mudar a tendência da curva, mas sim catalisar a produção, majoritariamente, nos primeiros 7 dias.

Conforme pode ser observado, não existe diferença significativa entre as taxas médias de produção de biogás, considerando os 120 dias de monitoramento, contudo, a taxa média dos primeiros 7 dias é determinante para o volume acumulado total, como ilustrado na Figura 3. Durante as primeiras 24h de incubação, a taxa média de produção de biogás é de 1708 KNmL.g<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> para mistura de tomate com rúmen bovino, 3100 KNmL.g<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> para mistura tomate com lodo e 2490 KNmL.g<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> para mistura tomate com lodo e rúmen bovino, portanto o efeito catalisador ocorre com maior eficiência na combinação lodo e tomate.

## **CONCLUSÕES**

O tomate apresentou um pH ácido, indicando a importância da sinergia com um inóculo para promover um melhor comportamento quanto a geração de biogás, além de elevado teor de umidade e sólidos voláteis dentro da faixa recomendada. Em termos de volume acumulado, a utilização do lodo da ETE como inóculo em conjunto com o substrato de tomate apresentou a maior produção de biogás frente as demais combinações. A taxa média para todas as combinações foi maior nas primeiras 24hs de estudo, com relevância de produção para os 7 primeiros dias.

## **REFERÊNCIAS**

ABNT. **NBR 6457**: Amostras de solo: Preparação de ensaio de compactação e ensaio de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASQUER, C.; PISTIS, A.; SCANO, E. A.. Characterisation of fruit and vegetable wastes as a single substrate for anaerobic

digestion. **Environmental Engineering and Management Journal**, v.12, p.89-92, 2015.

AZIZ, BILAL.; FARAJ, J.; HUSSEIN, F.. Experimental Study of the Biogas Production from Typical Food Waste in Iraq. **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and**

**Thermal Sciences**, v.75, p.157-167, 2020. DOI:

<http://doi:10.37934/arfmts.75.2.157167>

BARLAZ, M. A.. A **landfill carbono balance**: gas production and control, and carbono sequestration. Copenhagen: Dakofa Waste and Climate Conference, 2009.

CHERNICHARO, C. A. L.. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**: Reatores Anaeróbios. 2 ed. Belo Horizonte: Segrac; DESA; UFMG, 1997.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A.. **Biogas from waste and renewable resources**: An introduction. Weinheim: WILEY VCH, 2008. DOI: <http://doi:10.1002/9783527621705>

EDWIGES, T.; FRARE, L.; MAYER, B.; LINS, L.; MI TRIOLO, J.; FLOTATS, X.; COSTA, M. S. S. M.. Influence of chemical composition on biochemical methane potential of fruit and vegetable waste. **Waste Management**, v.71, p.618–625, 2018. DOI: <http://doi:10.1016/j.wasman.2017.05.030>

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food wastage footprint**: food cost-accounting. FAO, 2014.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World Food and Agriculture**: Statistical Yearbook. FAO, 2021.

FĂRÇAŞ, A. C.; SOCACI, S. A.; MICHIU, D.; BIRIŞ, S.; TOFANĂ, M.. Tomato Waste as a Source of Biologically Active Compounds. **Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Food Science and Technology**, Romania, v.76, n.1, p.85, 2019. DOI: <http://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:2019.0014>

FIRMO, A. L. B.. **Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

FRANCOU, C.. **Stabilisation de matière organique au cours du compostage de déchets urbains**: influence de la nature des déchets et du procédé de compostagem - Recherche d'indicateurs pertinents. Tese (Docteur de l'institut national agronomique paris-grignon) - Institut National Agronomique, Paris, 2003.

IVANOVA, L. K.; RICHARDS, D. J.; SMALLMAN, D. J.. The long-term settlement of landfill waste. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. **Waste and Resource Management**, v.161, n.3, p.121-133, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1680/warm.2008.161.3.121>

JAHANBAKHSI, A.; RASOOLI, S. V.; HEIDARBEIGI, K.; KAVEH, M.; TAGHINEZHAD, E.. Evaluation of engineering properties for waste control of tomato during harvesting and postharvesting. **Food Science & Nutrition**, v.7, n.4, p.1473-1481, 2019. DOI: <http://doi:10.1002/fsn3.986>

LIMA, A. L.; JUCÁ, J. F. T.; BRITO, A. R.; MELO, M. C.. Estudos comparativos de diferentes metodologias para determinação de umidade e sólidos voláteis aplicadas em resíduos sólidos urbanos. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6. **Anais**. Vitória: ABES, 2002.

MARTÍNEZ, M.; DRILLER, L.; CHAMY, R.; SCHUCH, W.; NOGUEIRA, M.; FRASER, P.. Biogas potential of residues generated by the tomato processing industry under different substrate and inoculum conditions. In: XIV International Symposium on Processing Tomato. **Anais. Acta Horticulturae**, v.1159, p.151-158, 2017. DOI: <http://doi:10.17660/actahortic.2017.1159.23>

SANTOS, L. A.; SANTOS, A. F. M. S.; VALENÇA, R. B.; JUCA, J. F. T.; OLIVEIRA, C. R. M.. Produção de biogás a partir de bagaço de laranja. **Revista Geama**, Recife, v.4, n.3, p.022-027, 2018.

SCANO, E. A.; ASQUER, C.; PISTIS, A.; ORTU, L.; DEMONTIS, V.; COCCO, D.. Biogas from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Experimental results on pilot-scale and preliminary performance evaluation of a full-scale power plant. **Energy Conversion and Management**, v.77, p.22–30, 2014. DOI: <http://doi:10.1016/j.enconman.2013.09.004>

SOARES, A. G.; FREIRE JUNIOR, M.. Perdas de frutas e hortaliças relacionadas às etapas de colheita, transporte e armazenamento. In: ZARO, M.. **Desperdício de alimentos**: velhos hábitos, novos desafios. Caxias do Sul: Educus, 2018. p.21-37.

TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K.. Pre-treatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review, **International Journal of Molecular Sciences**, v.9, p.1621–1651, 2018. DOI: <http://doi.org/10.3390/ijms9091621>

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A.. **Integrated solid waste management**: engineering principles and management issues. New York: McGraw-Hill, 1993.

VALENÇA, R. B.. **Avaliação da geração de biometano em diferentes cenários de biodegradação de resíduos alimentares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

WARD, A. J.; HOBBS, P. J.; HOLLIMAN, P. J.; JONES, D. L.. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. **Bioresource Technology**, v.99, n.17, p.7928-7940, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.044>

WHO. International Reference Center for wastes disposal. **Methods of analysis of sewage sludge solid wastes and compost**. Bern: WHO, 1978.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.