

## **Avaliação do potencial de geração de energia a partir de resíduos orgânicos de um restaurante popular**

**Evaluation of the potential of generating energy from organic waste from a popular restaurant**

**Evaluación del potencial de generación de energía a partir de residuos orgánicos de un restaurante popular**

Recebido: 20/12/2022 | Revisado: 05/01/2023 | Aceitado: 07/01/2023 | Publicado: 09/01/2023

**Mayesk Alves Rocha**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7092-4300>  
Universidade Federal de Sergipe, Brasil  
E-mail: [mayeskalvess@gmail.com](mailto:mayeskalvess@gmail.com)

**Antonio Martins de Oliveira Junior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8635-7048>  
Universidade Federal de Sergipe, Brasil  
E-mail: [amartins@academico.ufs.br](mailto:amartins@academico.ufs.br)

**Ana Karla de Souza Abud**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6610-6084>  
Universidade Federal de Sergipe, Brasil  
E-mail: [ana.abud@gmail.com](mailto:ana.abud@gmail.com)

### **Resumo**

A urgência de inovação no âmbito energético, aliada à preocupação ambiental e à alta geração de resíduos no cenário mundial, impulsiona cada vez mais o uso de técnicas de digestão anaeróbia como tecnologia próspera para tratamento de tais passivos ambientais e a produção do biogás. Desta forma, a utilização de biodigestor para produção de biogás é uma das possíveis maneiras de aproveitar o potencial energético renovável disponível no meio ambiente. Com isso, a presente pesquisa tem o objetivo de avaliar o potencial de produção de biogás na operação de biodigestor de bancada em batelada, a partir dos resíduos produzido em restaurante popular localizado no bairro de Rosa Elze, na cidade de São Cristóvão, utilizando como inóculo esterco de caprinos, em concentração adversa (0, 1, 2 e 3%). Os biodigestores utilizados no estudo foram desenvolvidos a partir a reutilização de garrafas de polietileno tereftalato (PET) e operados por 21 dias à temperatura de 25 °C. Com isso, foi possível verificar a evolução da geração diária de biogás por meio da decomposição anaeróbia de matéria orgânica e, também, acompanhar a temperatura e o pH das amostras. De acordo com os resultados encontrados nesta pesquisa, a melhor condição para a produção do biogás se deu com o a concentração de 3% de inóculo, com pH de 7,12, ou seja, com ajuste de pH, obtendo-se uma produção de 18 mL de biogás. No potencial de geração de energia, o presente trabalho obteve uma geração de 321 kWh/mês, indicando um ganho de R\$157,97/mês com o biogás produzido pelos resíduos alimentares do restaurante popular. Indicam a digestão anaeróbica como processo sustentável, sendo eficiente e com baixo custo.

**Palavras-chave:** Biogás; Biodigestores; Inóculo; Resíduos orgânicos.

### **Abstract**

The urgency of innovation in the energy field, combined with environmental concerns and the high generation of waste on the world stage, increasingly encourages the use of anaerobic digestion techniques as a thriving technology for the treatment of such environmental liabilities and the production of biogas. Thus, the use of a biodigester for biogas production is one of the possible ways to take advantage of the renewable energy potential available in the environment. Thus, this research aims to evaluate the potential of biogas production in the operation of a batch bench biodigester, from waste produced in a popular restaurant located in the neighborhood of Rosa Elze, in the city of São Cristóvão, using it as an inoculum goat manure, in adverse concentration (0, 1, 2 and 3%). The biodigesters used in the study were developed from the reuse of polyethylene terephthalate (PET) bottles and operated for 21 days at a temperature of 25 °C. With this, it was possible to verify the evolution of the daily generation of biogas through the anaerobic decomposition of organic matter and also to monitor the temperature and pH of the samples. According to the results found in this research, the best condition for the production of biogas was with a concentration of 3% of inoculum, with a pH of 7.12, that is, with pH adjustment, obtaining a production of 18 mL of biogas. In the energy generation potential, the present work obtained a generation of 321 kWh/month, indicating a gain of R\$157.97/month with the biogas produced by the food residues of the popular restaurant. They indicate anaerobic digestion as a sustainable process, being efficient and with low cost.

**Keywords:** Biogas; Biodigesters; Inoculum; Organic waste.

## Resumen

La urgencia por innovar en el campo energético, combinada con la preocupación ambiental y la alta generación de residuos en el escenario mundial, impulsa cada vez más el uso de técnicas de digestión anaeróbica como una tecnología próspera para el tratamiento de dichos pasivos ambientales y la producción de biogás. Por lo tanto, el uso de un biodigestor para producir biogás es una de las formas posibles de aprovechar el potencial de energía renovable disponible en el medio ambiente. Con esto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el potencial de producción de biogás en la operación de un biodigestor discontinuo de mesa, a partir de los residuos producidos en un restaurante popular ubicado en el barrio Rosa Elze, en la ciudad de São Cristóvão, utilizando como inóculo cabra estiércol, en concentración adversa (0, 1, 2 y 3%). Los biodigestores utilizados en el estudio se desarrollaron a partir de la reutilización de botellas de tereftalato de polietileno (PET) y operaron durante 21 días a una temperatura de 25 °C. Con ello, fue posible verificar la evolución de la generación diaria de biogás a través de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica y, además, monitorear la temperatura y el pH de las muestras. De acuerdo a los resultados encontrados en esta investigación, la mejor condición para la producción de biogás se dio con la concentración de 3% de inóculo, con un pH de 7.12, es decir con ajuste de pH, obteniendo una producción de 18 mL de biogás. En el potencial de generación de energía, el presente trabajo obtuvo una generación de 321 kWh/mes, indicando una ganancia de R\$ 157,97/mes con el biogás producido por los residuos de alimentos del restaurante popular. Señalan la digestión anaeróbica como un proceso sustentable, siendo eficiente y de bajo costo.

**Palabras clave:** Biogás; Biodigestores; Inóculo; Residuos orgánicos.

## 1. Introdução

Ao longo do tempo tem-se utilizado energias não renováveis, tais como carvão mineral, petróleo e o gás natural como única fonte para atender as necessidades energéticas do mundo. Diante da grande preocupação com o efeito estufa, no qual esses recursos têm uma grande contribuição, houve a necessidade de encontrar novas fontes, estratégias mais renováveis e menos poluidoras para suprir a demanda da população (Fernandes, 2019).

Uma alternativa que apresenta um caminho promissor como fonte de energia renovável é a criação de tecnologias e de procedimentos de fácil aplicação, com custos reduzidos, no que tange à obtenção de energia através do aproveitamento de materiais e à utilização de uma produção mais limpa (Fernandes, 2019).

Segundo a United Nations Environmental Program (UNEP), a produção mais limpa diz respeito ao aproveitamento contínuo de uma estratégia ambiental preventiva e integrada, de forma a ser aplicada em processos, produtos e serviços. Junto a isto, engloba-se o uso mais eficiente dos recursos naturais, minimizando a geração de resíduos e a poluição e, por conseguinte, os riscos à saúde humana e ao meio ambiente (Unep, 1988).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, em seu Artigo 3º, aponta que a destinação final dos resíduos, adequada ao meio ambiente, é aquela que integra a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético. Também aborda a classificação e a distribuição de forma adequada dos rejeitos em aterros sanitários, fazendo-se indispensável a observação de normas operacionais específicas, de modo a se evitar danos e/ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais adversos.

Os aterros sanitários são avaliados como uma modalidade adequada de disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU), tendo suas medidas de proteção ao meio ambiente e à saúde regulamentada por leis e normas operacionais (Battisti et. al., 2017).

Sua operacionalização se dá pela compactação dos resíduos sólidos, através de uma cobertura diária de camada de terra para permeabilizar o solo, utilizando dispositivos que visem a drenagem dos percolados e dos gases gerados, com a finalidade de impedir a sua exposição ao ar livre e também a não contaminando o solo (Battisti et. al., 2017).

O tratamento através da digestão anaeróbica é um procedimento biológico de materiais orgânicos degradados por meio de microrganismos, sem a presença de oxigênio, resultando em um produto final, o biogás (Soares et al., 2019).

No Brasil, o uso de fontes renováveis de energia é beneficiado pela variedade de opções disponíveis no meio ambiente, bem como pela abundância de rejeitos orgânicos de atividades em sociedade. Desta forma, a utilização de biodigestor para

produção de biogás é uma das possíveis maneiras de aproveitar o potencial energético renovável disponível no meio ambiente, sendo dependente da característica do rejeito utilizado e da maneira do processo de biodigestão (Machado, 2019).

Os biodigestores são equipamentos que consistem em uma câmara fechada onde os resíduos são fermentados através do processo anaeróbio, acelerando o processo de decomposição das matérias orgânicas (Iengep, 2012).

Segundo Oliveira (2019), o biogás é um gás inflamável, formado a partir de uma mistura gasosa de diversas substâncias, tendo como principal componente o gás metano (CH<sub>4</sub>). É, também, composto por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>), gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), monóxido de carbono (CO), amônio (NH<sub>4</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>) e aminas voláteis.

A composição do biogás possui, tipicamente, 40 a 70% de CH<sub>4</sub>, 30 a 45% de CO<sub>2</sub>, 0 a 1% de H<sub>2</sub>, 0 a 1% de N<sub>2</sub>, 0 a 3% de H<sub>2</sub>S e 0 a 10% de vapor de água. Estes percentuais são variáveis a depender do tipo de resíduo, tratamento e eficiência do processo (Mittal et. al, 2018).

Tendo em vista a importância de uma produção mais limpa e o aproveitamento integral dos resíduos, este trabalho tem como objetivo tem o objetivo de avaliar o potencial de produção de biogás na operação de biodigestor de bancada em batelada, a partir dos resíduos produzido em restaurante popular localizado no bairro de Rosa Elze, na cidade de São Cristóvão, utilizando como inóculo esterco de caprinos, em concentração adversa (0, 1, 2 e 3%).

## 2. Metodologia

A digestão anaeróbia de resíduo orgânico é uma alternativa promissora tanto no cenário ambiental quanto economicamente, pois tem como subproduto, o biogás. Contudo, para avaliar se a rota metabólica é viável, é necessário conhecer as características do resíduo utilizado na produção de biogás e a sua biodegradabilidade (Steinmetz et al., 2014).

Conforme as metodologias de Moura(2017), Lourenço et. al.(2019) e Oliveira (2019), foram realizados estudos em escala laboratorial, buscando simular as condições de um biodigestor para observar e analisar como é o comportamento do biogás, verificando a quantidade de gás liberada a partir de uma operação em batelada.

### 2.1 Matéria-prima e inóculo

A matéria-prima utilizada neste estudo foram resíduos adquiridos de um restaurante popular localizado no bairro de Rosa Elze, município de São Cristóvão, no Estado de Sergipe. A Tabela 1 apresenta o cardápio dos 10 dias de coletas no restaurante, possibilitando a identificação dos alimentos contidos na amostra.

Os rejeitos foram coletados no restaurante e no horário das 13:30. Depois de cada dia de coleta, as amostras eram pesadas, separadas manualmente para a realização da pesagem de cada item analisado, foi separado a partir dos grupos, grãos e carboidratos (arroz, feijão, milho, grão de bico, macarrão e entre outros); frutas, legumes e hortaliças e o grupo das carnes ( frango, boi, peixe, ovos e porco), para assim fazer um levantamento de quanto de cada grupo era desperdiçado e também para fazer uma proporção a ser utilizado nas análises de sólidos totais, em seguida, as amostras eram acondicionadas em um balde plástico essa separação e o armazenamento era realizado no Laboratório de Secagem, no Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), e conservada em freezer a -20 °C, nos dez dias de coletas.

Foi utilizado como inóculo dejetos de caprinos (esterco), coletados no Biotério da Universidade Federal de Sergipe (UFS). O material coletado foi pesado e acondicionado por 1 dia em recipiente fechado a temperatura de -20 °C até o uso.

**Tabela 1** - Cardápio do restaurante popular nos 10 dias de coleta.

Dia da coleta	Cardápio
14/07 (quarta-feira)	Feijão, arroz, macarrão alho e óleo, bife acebolado, frango assado, beterraba ralada, alface, tomate
15/07 (quinta-feira)	Feijão, arroz, macarrão ao molho de tomate, carne de panela, frango assado, beterraba ralada, quiabo cozido, tomate, batata cozida
19/07 (segunda-feira)	Feijão, arroz, macarrão ao molho de tomate, fígado, bisteca, batata cozida, tomate, beterraba cozida
20/07 (terça-feira)	Feijão, arroz, macarrão alho e óleo, peixe empanado, carne de sol, vinagrete, batata cozida
21/07 (quarta-feira)	Feijão, arroz, macarrão alho e óleo, lasanha de queijo e presunto, frango assado, couve crua, alface, cenoura cozida, pepino
22/07 (quinta-feira)	Feijão, arroz, macarrão ao molho de tomate, frango assado, bisteca, tomate, beterraba ralada, couve refogado, farofa de manteiga
26/07 (segunda-feira)	Feijão, arroz, macarrão ao molho de tomate, lasanha de frango, bife, cenoura ralada, batata cozida
27/07 (terça-feira)	Feijão, arroz, macarrão ao molho de tomate, farofa de manteiga, frango assado, bife, batata cozida, couve refogado
28/07 (quarta-feira)	Feijão, arroz, macarrão ao molho de tomate, carne de panela, frango assado, beterraba ralada, quiabo cozido, tomate

Fonte: Acervo dos autores (2021).

## 2.2 Testes de biodigestão em escala de bancada

Como pode ser vista na Figura 1, os experimentos realizados em escala laboratorial simularam um sistema de biodigestão operando em batelada, utilizando a garrafa de politereftalato de etileno (PET) como um biorreator e a seringa como medição do biogás (Oliveira, 2019).

**Figura 1** – Testes de biodigestão em escala de bancada utilizando a seringa como medidor.



Fonte: Acervo dos autores (2021).

A montagem do experimento com a seringa para medição do biogás utilizou 8 garrafas PET de 500 mL com tampa rosqueada, contendo 250 mL de resíduo orgânico com água. A saída na tampa rosqueada do frasco possuía uma mangueira de silicone com o comprimento de 5 cm e com circunferência de 5 x 10 mm, permitindo a passagem do biogás até o gasômetro. Para a montagem do gasômetro foi utilizada uma seringa graduada em 60 mL (Oliveira, 2019).

Para o processo de biodigestão anaeróbia em batelada, o processo de alimentação do reator ocorreu apenas e exclusivamente no começo da operação. Com isso, foi realizado um outro experimento com 8 garrafas PET utilizando tampa rosqueada e com equipo gravitacional de 30 cm para realizar, durante o experimento, a análise de pH, com a retirada de uma parte da amostra com auxílio de uma seringa de 5 mL (Moura, 2017).

Todos os frascos foram devidamente vedados para garantir condições estritamente anaeróbias ao resíduo, possibilitando o processo de decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio. Os experimentos (com o medidor e com o equipo) foram realizados simultaneamente (Moura, 2017).

No preparo do experimento, o resíduo foi descongelado até temperatura ambiente e, logo após o descolamento, foi feita uma triagem para a remoção de algumas matérias, para não danificar o liquidificador e, também, facilitar a trituração. Como pode ser vista na Figura 2 onde mostra alguns materiais que foram removidos, como espinhas de peixe, osso de galinha e de porco, palitos de dentes e papel de guardanapo.

**Figura 2** - Triagem para retiradas de ossos, espinhas, palitos de dente e guardanapo.



Fonte: Acervo dos autores (2021).

Posteriormente, foram pesados 250 g de resíduos, sendo transferidos para o liquidificador e adicionado a ele 500 mL de água. A mistura foi triturada em liquidificador até atingir uma textura entre líquida e pastosa, para facilitar o processo de fermentação (Lourenço et. al., 2019).

O inóculo (esterco de caprino) foi utilizado em três concentrações: 1, 2 e 3% (m/v).

Os experimentos foram divididos em oito frações, sendo elas:

- (1) sem inóculo e sem ajuste de pH (pH = 5,55);
- (2) sem inóculo e com ajuste do pH (pH = 7,0);
- (3) com inóculo com concentração de 1% e sem ajuste de pH;
- (4) com inóculo com concentração de 1% e com ajuste de pH;
- (5) com inóculo com concentração de 2% e sem ajuste de pH;
- (6) com inóculo com concentração de 2% e com ajuste de pH;
- (7) com inóculo com concentração de 3% e sem ajuste de pH;
- (8) com inóculo com concentração de 3% e com ajuste de pH

O ajuste de pH no substrato foi realizado em pHmetro Tecnal TEC-5, com a utilização de potenciômetro e eletrodo. O

acompanhamento dos experimentos foi realizado a partir de medições de temperatura do processo, por meio de termômetro digital infravermelho modelo MT- 9002, e pelo monitoramento do deslocamento do gás dentro e da seringa (Lourenço et. al., 2019).

### 2.3 Potencial de Geração de Energia

Para estimar a potencial geração de energia a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos do restaurante popular, levou-se em consideração o poder calorífico inferior do metano adquirido através dos resultados qualitativos do biogás e a produção média de sólidos voláteis e geração diária de resíduos alimentares produzido pelo restaurante.

Quando o biogás é utilizado como combustível em um moto gerador de eletricidade, por exemplo, o rendimento teórico esperado é da ordem de 30%, indicando que a energia elétrica gerada tem o potencial de somente 30% em comparação ao motor que utiliza a gasolina como combustível (Silva, 2018). Esse baixo rendimento ocorre por conta de que o gás possui sua energia menos concentrada em volume em comparação a gasolina (Souza, 2020).

A utilização do biogás como recurso energético ocorre, principalmente, por causa do metano (CH<sub>4</sub>) puro e em condições normais de pressão (1 atm) e temperatura (PTN), tendo um poder calorífico inferior (PCI) de 9,97 kWh/m<sup>3</sup>. O biogás, com um teor de metano entre 50% e 80%, terá um poder calorífico inferior entre 4,95 e 7,92 kWh/m<sup>3</sup> (Coldebella et al., 2006).

Através do valor obtido do poder calorífico do biogás, foi possível determinar a capacidade de conversão em eletricidade, a partir da equação.

$$\text{Potencial energético} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right) = \text{Produção diária de metano} * \text{Poder calorífico inferior}$$

Como o rendimento de motor gerador é de ordem de 30%, tem-se que a produção real de energia é equivalente à equação.

$$\text{Produção real de energia} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right) = \text{Potencial energético} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right) * 30$$

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Inventário dos resíduos orgânicos gerados

A Tabela 2 apresenta a massa de resíduo orgânico aferida para cada dia de coleta (14/07/2021 a 28/07/2021).

Um ponto que deve ser ressaltado é que, a depender do dia da semana, o cardápio influenciou de forma significativa a geração dos resíduos no restaurante. Logo, houve dias com maior fluxo de pessoas, ou seja, com um cardápio mais agradável ao paladar e, também, com mais ossos, espinhas, dentre outros, interferindo diretamente no volume dos resíduos produzidos nas refeições. Outro destaque é que a pesquisa foi realizada durante a pandemia, isto é, sem sua capacidade máxima do restaurante. Como mencionado pelo proprietário, seu principal público eram os estudantes e funcionários na universidade, que não estavam comparecendo no local em função da suspensão das aulas presenciais.

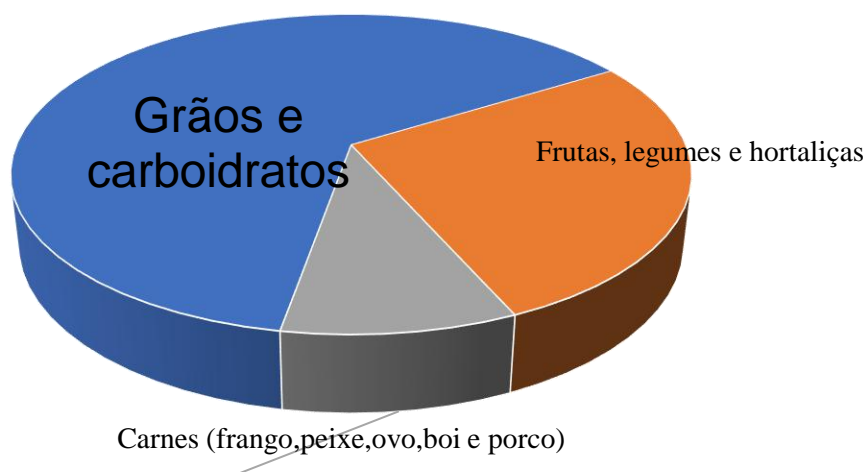
**Tabela 2** - Massa dos resíduos alimentares gerado pelo restaurante popular.

<b>14/07 (quarta-feira)</b>	147,24 g
<b>15/07 (quinta-feira)</b>	156,40 g
<b>19/07 (segunda-feira)</b>	197,74 g
<b>20/07 (terça-feira)</b>	237,57 g
<b>21/07 (quarta-feira)</b>	231,78 g
<b>22/07 (quinta-feira)</b>	286,52 g
<b>26/07 (segunda-feira)</b>	289,58 g
<b>27/07 (terça-feira)</b>	259,25 g
<b>28/07 (quarta-feira)</b>	254,62 g

Fonte: Acervo dos autores (2021).

A Figura 3 ilustra a caracterização gravimétrica e as quantidades das frações encontradas nos resíduos orgânicos em cada grupo.

**Figura 3** – Caracterização gravimétrica e quantidade de cada grupo gerado pelo restaurante.



Fonte: Acervo dos autores (2021).

A média de resíduos orgânicos referentes ao preparo do almoço no restaurante foi de 30 kg, como informado pelo restaurante. Segundo o restaurante, essa é uma média diária e está abaixo dos dias sem pandemia. Esse valor será utilizado no trabalho para realizar os cálculos para o potencial de geração de energia elétrica gerada com os resíduos orgânicos.

O trabalho utilizou as metodologias de Moura (2017), Mazzone et al. (2021) e Araújo et al. (2020), onde foram realizados levantamentos da quantidade de resíduos orgânicos desperdiçados por dia nos restaurantes universitários, no restaurante popular na cidade de Tietê/SP e nos estabelecimentos comerciais na cidade de Marabá/PA, respectivamente. Destaca-se que os trabalhos mencionados foram realizados no período de pré-pandemia, acarretando valores maiores que o encontrado nesta pesquisa. A Tabela 3 apresenta o estabelecimento e também a quantidade de resíduo orgânico produzido pelos mesmos.

**Tabela 3** – Comparativo da geral total de resíduos orgânicos em restaurantes.

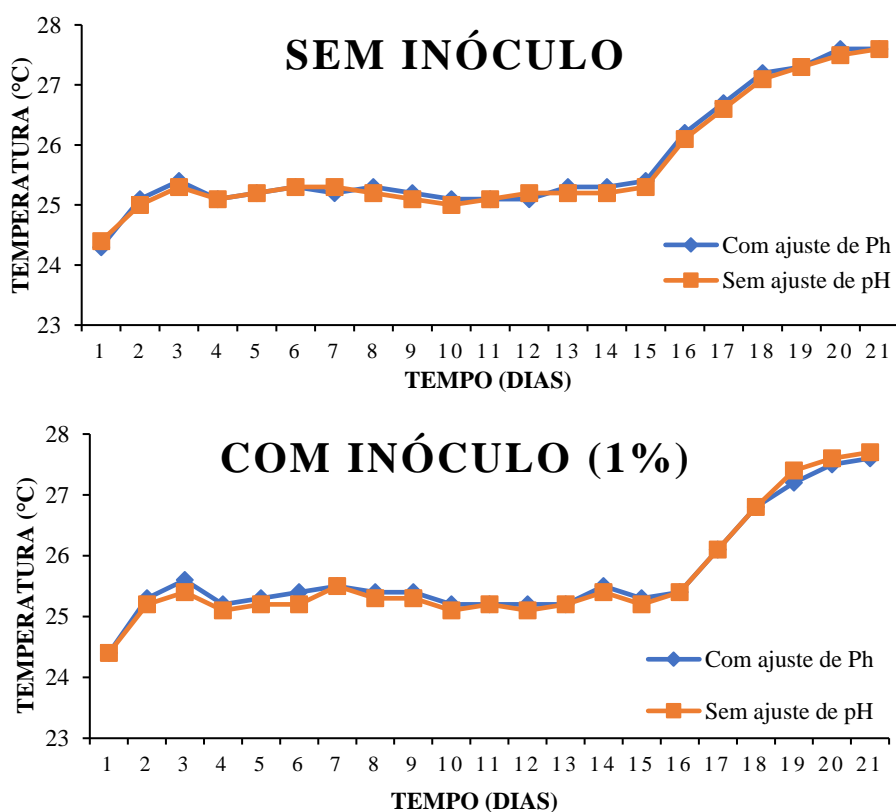
Referência	Estabelecimento	Resíduo Orgânico (kg)
Albertone (2013)	UTFPR	168,66
Rocha (2016)	UFJF	112,00
Sotti (2014)	UTFPR-LD	68,92
Gomes (2014)	UFMG	406,72
Menezes et al. (2002)	USP	268,60
Mazzonetto et al. (2021)	Rest. M. A. Cancian	50
Araujo et al. (2020)	Rest. em Marabá (médias dos restaurantes da cidade foram 184)	100

Fonte: Acervo dos autores (2021).

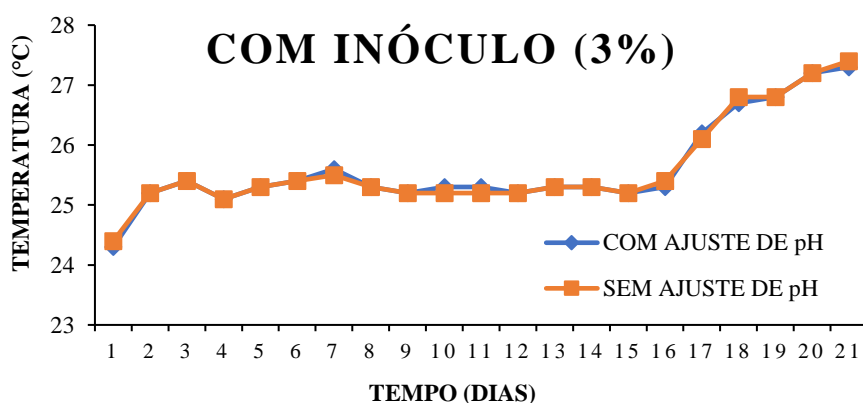
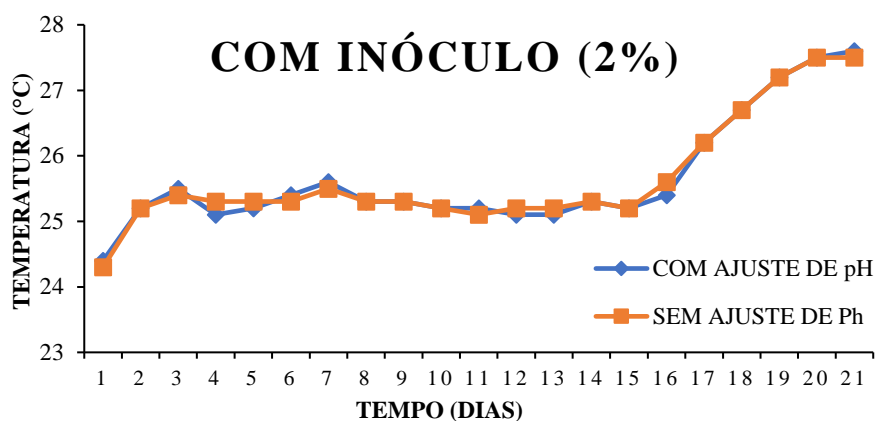
### 3.2 Temperatura

A Figura 4 ilustra as variações da temperatura média ao longo dos 21 dias de experimento nos 8 biodigestores, fazendo uma comparação com e sem ajuste de pH e nas diferentes concentrações de inóculo.

**Figura 4** - Variação de temperatura em diferentes concentrações de inóculo







Fonte: Acervo dos autores (2021).

A determinação das temperaturas no interior do biodigestor foi realizada 4 vezes por dia, 2 vezes no período da manhã (8 e 11 horas) e 2 vezes no período da tarde (14 e 17 horas), sendo os dados relatados referentes à média do dia. Outro ponto importante no âmbito da temperatura é que a temperatura externa foi controlada através de ar-condicionado, a uma temperatura de 25 °C, escolha dessa temperatura se deu pois, segundo *Clima-data* (2021), a temperatura anual média na cidade de Aracaju é de 25,4 °C.

As maiores temperaturas dos experimentos ocorreram no biodigestor com 1% (m/v) esterco e sem ajuste de pH, alcançando 27,7 °C. Os experimentos com 3% de inóculo terminaram o processo com 27,3 °C com ajuste e, sem ajuste, com 27,4 °C. Os experimentos com 2% de inóculo encerraram com a temperatura de 27,6 °C com ajuste de pH e 27,5 °C sem ajuste. Já com 1% de esterco, o experimento sem ajuste de pH alcançou 27,3 °C, enquanto o biodigestor sem inóculo terminou com a mesma temperatura (27,6 °C), independentemente do pH. Todos os biorreatores terminaram com temperatura acima de 27 °C e as maiores variações foram 0,4 °C, tanto no biorreator com 1% de inóculo e sem ajuste de pH quanto no biorreator com 3% de inóculo e com ajuste de pH.

Os experimentos tiveram uma variação térmica média de 1,2 °C do 1º a 15º dia. Entre o 16º e o 21º dias a variação térmica foi de 1,7 °C e, no total, a variação do experimento se deu por média de 3,2 °C. De acordo com *Oliveira* (2019), uma variação da temperatura em torno de 2 a 3 °C é suficiente para a mortalidade de grandes partes das bactérias digestoras e em uma variação em torno de 5 °C a biodigestão é inviabilizada.

Para *Alkanok, Demirel e Onay* (2014), se a temperatura interna for maior que 10 °C, há a ação das bactérias metanogênicas, o que ocorreu nesse trabalho. Ainda segundo os autores estimam que temperaturas entre 35 e 40 °C permitem uma maior aceleração na biodigestão anaeróbia.

*Gyalpo* (2010), utilizando o biodigestor com resíduos sólidos orgânicos (RSO) de suínos a 25 °C, obteve produção de

biogás durante 68 dias, quando submeteu o experimento a uma temperatura de 45 °C e aumentou a produção do biogás, que ocorreu ao longo de 131 dias.

### 3.3 pH

Em relação ao pH, a Tabela 4 apresenta os resultados do pH inicial, coletado depois do processo de trituração da amostra com água, seus ajustes e os valores de pH medidos no 7º, 14º e 21º dias, este último o pH final.

A medição do pH nos 7º e 14º dias após o início do processo de produção do biogás foi para verificar a acidez nas amostras para, assim, observar se as bactérias metanogênicas estavam em um ambiente propício para sua sobrevivência, ou seja, se ainda estava ocorrendo o processo de produção do biogás.

Após 21 dias de experimento foi realizado a medição do pH final, onde os biodigestores sem o ajuste de pH tiveram o pH menor do que foi ajustado. O experimento com inóculo a 2%, terminou com o maior pH, 4,54.

**Tabela 4** – Acompanhamento pH ao longo do experimento.

Amostras	pH inicial	pH (1ª semana)	pH (2ª semana)	pH final
Sem inóculo e sem ajuste de pH	5,55	5,23	4,12	4,13
Sem inóculo e com ajuste de pH	7,12	6,29	4,52	4,52
1% de inóculo e sem ajuste de pH	5,55	5,22	4,11	4,12
1% de inóculo e com ajuste de pH	7,12	6,27	4,50	4,53
2% de inóculo e sem ajuste de pH	5,55	5,21	4,12	4,13
2% de inóculo e com ajuste de pH	7,12	6,24	4,51	4,54
3% de inóculo e sem ajuste de pH	5,55	5,20	4,10	4,14
3% de inóculo e com ajuste de pH	7,12	6,23	4,48	4,50

Fonte: Acervo dos autores (2021).

Lourenço et. al. (2019) cita que a faixa ideal de pH para a produção de biogás está entre 6,0 e 8,0 e que o desenvolvimento de ácidos orgânicos no início do processo de biodigestão anaeróbia, devido à hidrólise, leva à redução do pH e, como isso, as bactérias metanogênicas permitem a transformação de ácidos em produtos gasosos.

Fernandes (2019) relata que, quando o pH decresce para valores abaixo de 5,0, devido à produção de ácidos orgânicos pelas bactérias hidrolíticas, há uma possível interrupção no processo de fermentação e, por consequência, na produção de biogás.

### 3.4 Produção de biogás

A Figura 5 apresenta os valores médios de biogás produzido por dia em cada biodigestor, fazendo uma comparação entre a mesma concentração de esterco e diferenciando o processo com e sem ajuste de pH.

É possível identificar um comportamento similar a todos os processos no que tange o início do experimento, com o início da produção de biogás a partir do 5º dia de fermentação. Uma justificativa para essa demora, segundo Gyalpo (2010), é devido à temperatura, pois a literatura estabelece 45 °C como temperatura ideal, enquanto estes experimentos ocorreram a uma temperatura inicial média de 24,4 °C. Oliveira (2019) observou a mesma demora, iniciando a produção do biogás também a partir do 5º dia, mas em uma temperatura média de 18,3 °C, muito abaixo do ideal.

Enquanto o experimento sem inóculo e com ajuste de pH iniciou o processo de produção de biogás no 5º dia, o sem ajuste teve início no 6º dia. Todavia, após o 9º dia, o experimento com ajuste de pH apresentou um crescimento maior em relação

ao sem ajuste. Os experimentos obtiveram uma estabilidade na produção de gás a partir do 11º dia. Com a finalização do experimento no 21º dia, o biodigestor sem ajuste terminou com um volume de 5 mL e o com ajuste de pH com um volume de 6 mL.

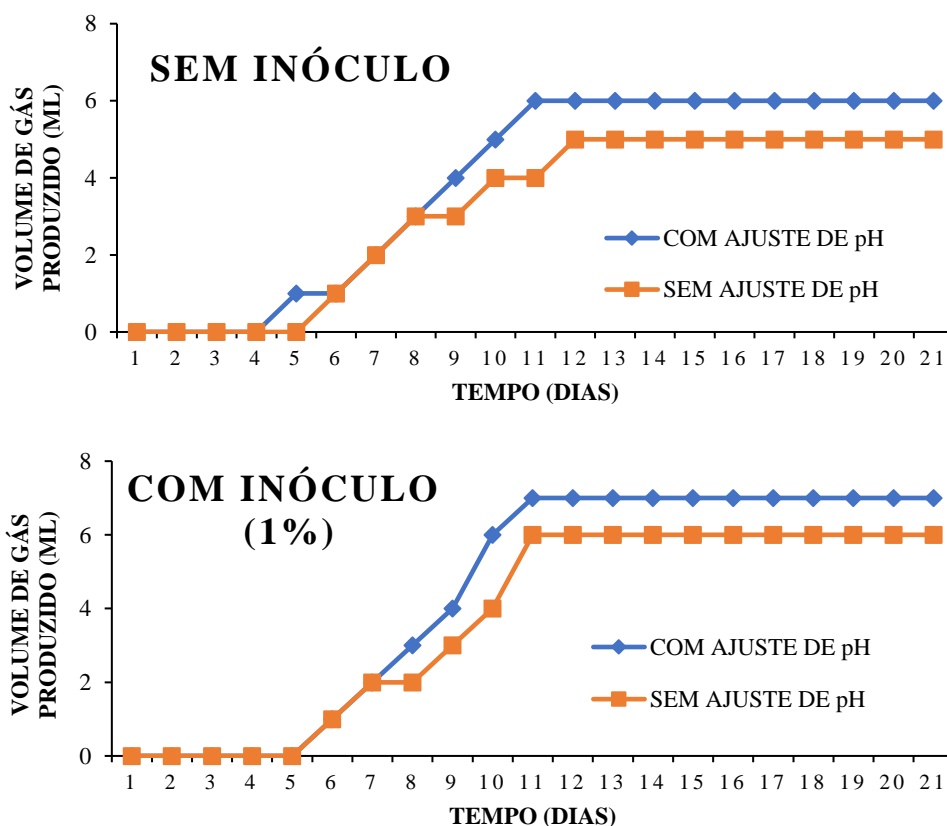
Nos experimentos com adição de 1% de inóculo no biodigestor, verificou-se nos sete primeiros dias um crescimento semelhante. A partir do 8º dia, o experimento com ajuste de pH teve uma pequena aceleração, terminando com um volume total de 7 mL, enquanto o sem ajuste de pH finalizou com um volume de 6 mL de gás. A estabilização na formação de biogás também ocorreu no 11º dia.

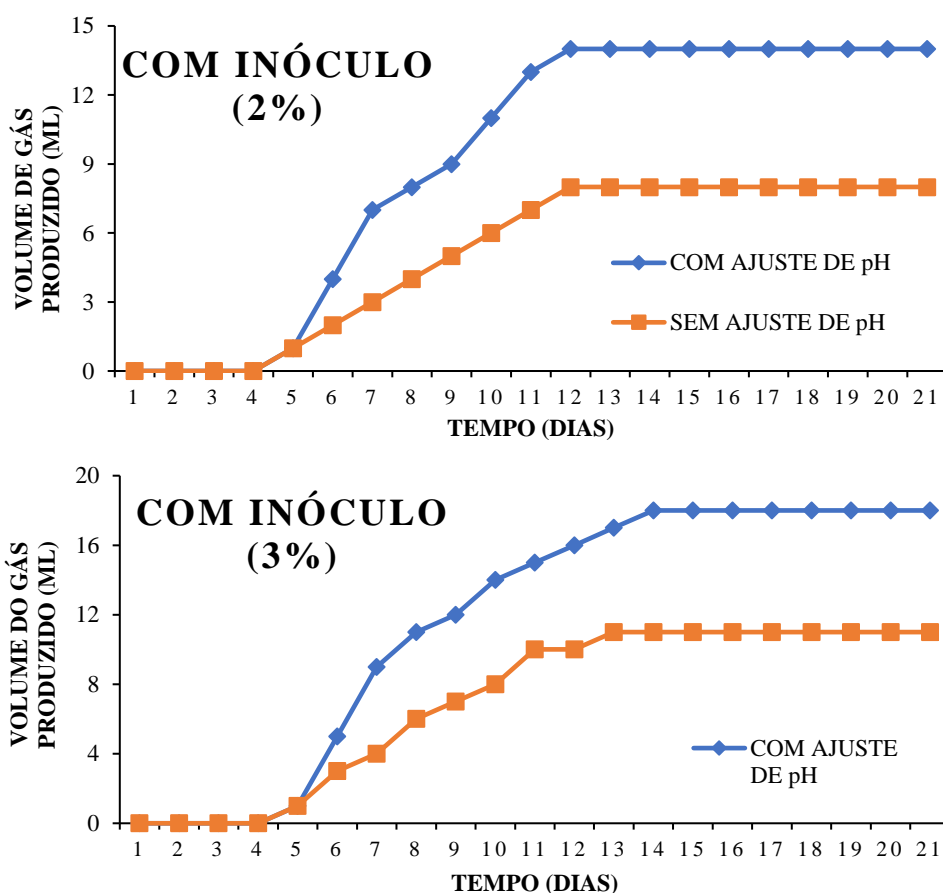
Nos experimentos com 2% de inóculo no biodigestor notou-se o início de produção no 5º dia. O biodigestor com ajuste de pH obteve uma aceleração da fabricação de biogás até 12º dia, obtendo uma estabilidade logo em seguida e, depois dos 21 dias, encerrou com a formação de 14 mL de gás produzido. O experimento sem ajuste de pH finalizou com 8 mL, um volume 43% inferior ao com controle de pH.

Para a biodigestão com 3% de inóculo, o ajuste de pH proporcionou uma produção de biogás 40% maior do que o processo sem ajuste de pH.

Todos os biodigestores tiveram uma estabilidade no final da segunda semana de experimentos. Isso pode ser justificado pela medição do pH, como exposto na Tabela 4, uma vez que na 2ª semana o pH dos experimentos estava abaixo do recomendado na literatura ( $\text{pH} > 5,0$ ), indicando que a produção de ácidos orgânicos pelas bactérias hidrolíticas acarretou na interrupção no processo de fermentação e, por consequência, na produção de biogás.

**Figura 5 -** Volume de gás produzido em diferentes concentrações de inóculo.





Fonte: Acervo dos autores (2021).

Alkanol, Demirel e Onay (2016), na biodigestão de resíduos de frutas, vegetais, flores, obtiveram uma produção de 6 mL de biogás e, com biodigestão de resíduos mistos, obtiveram uma produção de 6,8 mL.

Oliveira (2019), em biodigestor contendo arroz e feijão, conseguiu uma produção de 20 mL de biogás e no biodigestor com arroz, feijão, beterraba e alface, gerou apenas 12,5 mL.

Em comparação a esses dois trabalhos, o presente trabalho teve uma boa eficiência na produção de biogás a partir de resíduos semelhantes.

### 3.5 Potencial de geração de energia

Os resíduos alimentares utilizados nesta pesquisa obtiveram em média 25,93% de sólidos voláteis em sua composição e, considerando a quantidade diária de 30 kg de resíduos alimentares gerados pelo restaurante, obteve-se um valor equivalente de sólidos voláteis de 7,78 kg SV/dia.

Empregando a média dos valores de potencial metanogênico dos resíduos alimentares exibida por diversos autores, chegou-se a 0,462 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg SV, indicando que a produção diária de metano gerada pelos resíduos alimentares do restaurante popular seria equivalente a 3,6 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/dia.

Segundo os experimentos de Malinowsky (2016), para Carga Orgânica Volumétrica (COV) de 2 kg SVT/m<sup>3</sup> dia aplicados no sistema experimental, taxas elevadas de produção de biogás foram alcançadas, com uma concentração de metano em torno de 64%.

Considerando-se que porcentagem de metano na composição do biogás procedente da biodigestão dos resíduos orgânicos do restaurante popular seja equivalente a 64%, obtém-se um volume de biogás gerado igual a 5,625 m<sup>3</sup>/dia.

Para Coldebella et al. (2006), o biogás possui um teor de metano entre 50 e 80% e um poder calorífico inferior (PCI) entre 4,95 e 7,92 kWh/m<sup>3</sup>. Utilizando o teor de metano de 64% para resíduos alimentares, tem-se um PCI médio de 6,34 kWh/m<sup>3</sup>. Dessa forma, tem-se a produção de 35,66 kWh/dia de biogás em um restaurante popular.

No entanto, como já mencionado anteriormente, a eficiência de conversão do biogás em energia elétrica com grupos geradores (motores ciclo Otto) é de aproximadamente 30%, tornando a produção real de energia equivalente a 10,70 kWh/dia, ou seja, 321 kWh/mês.

Através de cálculos tarifários apresentados pelo site da companhia elétrica ENERGISA (2022), foi possível obter o preço cobrado pelo kWh ao grupo a qual o restaurante está incluído, sendo o valor obtido de R\$ 0,49209 por kWh consumido na tarifa verde. Desta forma, o biogás gerado pelos resíduos alimentares do restaurante popular, poderiam representar uma economia aproximada de R\$ 157,97/mês.

#### 4. Considerações Finais

Este trabalho apontou que, por meio de uma gestão eficiente no que tange os resíduos sólidos orgânicos é possível aproveitar o potencial energético desses resíduos através da transformação em biogás e conseqüentemente diminuir o consumo de combustíveis fósseis, reaproveitando os resíduos no qual seria destinado ao aterro sanitário, e com isso, reduzindo os impactos ambientais e contribuindo para melhoria social e econômico.

A utilização os resíduos sólidos orgânicos para produção de biogás para a produção de geração de energia é uma alternativa interessante conforme a redução da conta de energia elétrica no final do mês para o estabelecimento. Conforme o potencial de geração de energia, a produção de energia foi de 321 kWh/mês.

Os cálculos tarifários apresentados pela companhia elétrica atuante no Estado de Sergipe, a ENERGISA, foi possível obter o preço cobrado pelo kWh ao grupo no qual o restaurante está incluso e o valor de consumo por kWh na tarifa verde (R\$ 0,49209). Os resultados deste estudo mostraram que o biogás gerado pelos resíduos alimentares do restaurante pode gerar um ganho de R\$ 157,97/mês.

Deve-se ressaltar que a implantação de um sistema de geração de energia em um estabelecimento tem custo elevado, visto que os equipamentos como o motor de ciclo otto, que vai transformar a energia do biogás em energia elétrica, tem um preço alto e também para a sua implantação.

Devido a capacidade de geração de energia elétrica e às vantagens apresentadas, a proposta deste trabalho utilizando os resíduos orgânicos digeridos anaerobicamente, utilizando esterco de caprinos como inóculo, geraram resultados satisfatórios quando comparados a outros estudos encontrados na literatura, ainda que a temperatura e o pH ácido possam ter acarretado um rendimento inferior e a produção de biogás não tenha atingido sua produção máxima.

#### Referências

- Alkanok, G.; Demirel, B. & Onay, T. T.(2014) Determination of biogás generation potential as a renewable energy source from supermarket wastes. *Waste Management*. 34(1), 134-140.
- Araújo, C. S.; Rodrigues, G.; Siqueira, J. L. P. & Albino, U. B. (2020). Resíduos sólidos orgânicos gerados nos estabelecimentos comerciais de Marabá - PA, do problema às soluções. *Braz. J. of Develop.*
- Battisti, A. C.; Bittencourt, E. S.; Fontes, C. H. O.; Filho, S. A. & Ferreira, A. M. S.(2-17). Avaliação técnica e econômica do biogás gerado no aterro sanitário de Vitória da Conquista- Bahia para aproveitamento energético. *XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.
- Clima-data.(2021) *Dados climatológicos da cidade de Aracaju/ Sergipe*.
- Coldebella, A. (2006) Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite. *Congresso internacional sobre geração distribuída energia no meio rural. AGRENER*.
- Energisa. (2021) *Tarifa de Energia Elétrica*.

- Fernandes, F. P. (2019) *Produção de biogás a partir de biomassa ruminal de diferentes grupos genéticos de ovinos*. Monografia (Engenharia Agrícola) UFM.
- Gomes, J. N. C. (2014). *Potencial de produção de energia a partir da biometanização de resíduos orgânicos do campus Pampulha da UFMG*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). UFMG.
- Gyalpo, T (2010). Anaerobic digestion of canteen waste at a secondary school in Dar es Salaam, Tanzania. *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag)*.
- Iengep. (2012). *Biodigestores*.
- Lourenço, V. A.; Nadaleti, W. C.; Vieira, B. M.; Leandro, D.; Silva, M. A.; Santos, R. F.; Santos, G. B.; Valentini, M. H. K.; Schoeler, G. P.; Koschier, I. F.; Duarte, V. H. & Corrêa, A. G. (2019). Produção de biogás via codigestão anaeróbia de efluente da parboilização de arroz e resíduos orgânicos. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 10(4), 219-231.
- Machado, A. R. (2019). *Potencialidades e desafios da utilização de biogás para transporte e geração de energia*. Santa Maria Monografia (Engenharia Mecânica) - UFSM..
- Malinowsky, C. (2016). *Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UFSC.
- Mazzonetto, A. W.; Carniel, R. B. F.; Catala, L. B.; Pedro, A. Da C. (2021). Avaliação do potencial energético dos resíduos orgânicos de um restaurante de Tietê/SP – um estudo de caso. *Bioenergia em revista*.
- Menezes, R. L.; Santos, F. C. A.; Leme, P. C. S. (2002). Projeto de minimização de resíduos sólidos no restaurante central do campus de São Carlos da Universidade de São Paulo. *XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.
- Mittal, S.; Ahlgren, E. O.; Shukla, P. R. (2018). Barriers to biogas dissemination in India – A review. *Energy Policy*, 112(1), 361-370.
- Moura, R. P. (2017). *Avaliação do potencial de geração de energia a partir dos resíduos orgânicos do restaurante universitário central da UFRJ*. Monografia (Engenharia Ambiental) - UFRJ.
- Oliveira, D. E. P. (2019). *Estudo de viabilidade da produção de energia elétrica a partir do biogás gerado pela biodigestão de resíduos sólidos orgânicos de uma central de abastecimento paulista*. Dissertação (Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis) - UNJ.
- Silva, M. A. Z.; Silva, H. de O. F. & Alvares, I. L. (2018). Dimensionamento de biodigestores batelada através do método primal dual barreira logarítmica.. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Matemáticas*.
- Soares, C. M. T.; Feiden, A.; Saquet, M. A.; Alves, A. F. (2019). Produção de biogás como alternativa energética sustentável: perspectivas de desenvolvimento territorial com autonomia. *Revista Orbis Latina*.
- Sotti, G. (2014). *Biogás de digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos de restaurante universitário com efluente sanitário*. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - UTFP.
- Souza, A. A. (2020). *Estudo de caso de geração distribuída com biogás no aterro municipal de Cascavel – PR*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura), UEOP.
- Steinmetz, R. L. R.; Kunz, A.; Soares, H. M.; Amaral, A. C. Do; Mota, S.C.A (2014). Avaliação da produção de biogás de resíduos de incubatório de ovos. *Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental na Agropecuária*.
- United Nations Environmental Program. (2020). *Marco Global para Ação em Produção e Consumo Sustentável*.