

## CARACTERIZAÇÃO DE DIGESTATO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS RESIDENCIAIS E VIABILIDADE DE USO NA AGRICULTURA IRRIGADA

LETÍCIA THÁLIA SILVA MACHADO<sup>1</sup>; KARL AUGUSTE LEROY<sup>2</sup>; KASSANDRA SUSSI MUSTAFÉ OLIVEIRA<sup>3</sup> E RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780–CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: lt.irrigacaoedrenagem@gmail.com.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780–CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: karl.auguste@unesp.br.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780–CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: kassandra.oliveira@unesp.br.

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780–CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: rodrigo.roman@unesp.br.

### 1 RESUMO

Os digestatos obtidos através da digestão anaeróbia podem ser aproveitados e são benéficos na produção agrícola, para isso, é importante conhecer previamente suas propriedades e características. Objetivou-se com este trabalho realizar a caracterização do digestato obtido a partir do tratamento anaeróbio de resíduos alimentares e avaliar a viabilidade de seu uso na irrigação localizada. Para realização deste trabalho, utilizou-se um biodigestor comercial (HomeBiogas 2.0) em que a biodigestão foi conduzida por 8 meses (abril a dezembro/2021). Neste período foram realizadas análises físico-químicas e biológicas do efluente periodicamente. A partir dos resultados obtidos, constatou-se que o digestato apresentou elementos químicos interessantes para o uso agrícola, dos quais cita-se N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn e alta carga orgânica. O digestato apresentou propriedades microbiológicas aceitáveis para aplicação agrícola. Já os teores de Fe, sólidos dissolvidos e suspensos foram acima do recomendado para uso em sistemas de irrigação localizada, com isso, recomenda-se realizar o tratamento do digestato para aplicação por meio desse sistema de irrigação. Concluiu-se que o digestato, se utilizado em conformidade com orientações de profissionais, pode gerar benefícios na produção agrícola, contribuindo como uma fonte de nutrientes para as plantas e fonte de matéria orgânica para o solo.

**Palavras-chave:** biofertilizante, biodigestor, digestão anaeróbica, HomeBiogas.

MACHADO, L. T. S.; LEROY, K. A.; OLIVEIRA, K. S. M.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.

CHARACTERIZATION OF RESIDENTIAL ORGANIC WASTE DIGESTED AND VIABILITY OF USE IN IRRIGATED AGRICULTURE

## 2 ABSTRACT

Digestate obtained through anaerobic digestion can be beneficial in agricultural production, for this, it is important to know their properties and characteristics beforehand. The objective of this study was to characterize the digestate obtained from anaerobic treatment of food waste and evaluate the feasibility of its use in localized irrigation. A commercial biodigester (HomeBiogas 2.0) was used for this work and operated during 8 months (from april to december/2021). The digestate was evaluated for its physical-chemical and biological properties. Digestate presented interesting chemical elements for agricultural use, such as N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, and Zn, as well as a high organic load. Additionally, the digestate presented acceptable microbiological sanity for agricultural application. However, the levels of Fe, dissolved solids, and suspended solids were above the recommended values for use in localized irrigation systems. Therefore, it is recommended to treat the digestate before applying it through this irrigation system. It can be concluded that if the digestate is used in accordance with professional guidelines, it can generate benefits in agricultural production, contributing as a source of nutrients for plants and organic matter for the soil.

**Keywords:** biofertilizer, biodigester, anaerobic digestion, HomeBiogas.

## 3 INTRODUÇÃO

Atualmente, os resíduos orgânicos representam a maior fração do total dos resíduos sólidos gerados mundialmente. Segundo Hoornweg e Bhada-Tata (2012) essa fração corresponde a cerca de 46% dos resíduos totais. Nos países em desenvolvimento esse índice tende a ser ainda maior, como é observado no Brasil, que apresenta uma produção de resíduos acima de 50%, no Chile em torno de 50%, Austrália 47%, Colômbia 54%, Indonésia 62%, México 51%, dentre outros.

Mesmo diante da produção expressiva desses resíduos, sua finalização é feita de forma predominantemente inadequada, sendo destinados, na maioria das vezes, a áreas abertas sem devida impermeabilização do solo (ABRELPE, 2019; HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012), o que vêm causando grandes impactos no meio ambiente, no meio social e na saúde pública. Outro fator agravante que deve ser ponderado quando se trata do descarte desses resíduos é o encarecimento da captação e transporte dos resíduos sólidos urbanos e a redução da vida útil dos aterros

sanitários, uma vez que os resíduos orgânicos compõem quase a metade dos resíduos sólidos totais gerados. Segundo Ferreira *et al.* (2018), do ponto de vista da sustentabilidade, os resíduos orgânicos não devem ser tratados como rejeitos e destinados para lixões e aterros, eles devem ser reutilizados de forma eficiente no ciclo produtivo e econômico.

Dentre as alternativas para uso eficiente, tem-se o processo de biodigestão, também conhecido como digestão anaeróbia. Nesse processo, bactérias anaeróbias fazem a decomposição dos resíduos orgânicos, promovendo sua neutralização e gerando como principais produtos metano e um digestato metanogênico, que podem ser aproveitados. O metano gerado pode ser utilizado para produção de energia (BARENDAR; KHARE; NEMA, 2020; PERRUCCI; RODRIGUES, 2018; SILVA, 2021) e o digestato anaeróbio pode ser utilizado como biofertilizante na agricultura (BARŁÓG; HLISNIKOVSKÝ; KUNZOVÁ, 2020; DOYENI *et al.*, 2021; O'REILLY, 2014; RAKASCAN *et al.*, 2021; WEIMERS *et al.*, 2022).

Ainda nos dias atuais, o uso de digestores anaeróbios é adotado, na maioria das vezes, visando apenas a produção de energia elétrica e/ou térmica. Isso se dá devido ao seu grande potencial de geração de energia, e, pelo fato de ser uma alternativa sustentável e renovável. No entanto, do ponto de vista agrônomo, o digestato e o lodo gerado pelo processo podem apresentar grande potencial como fertilizantes, como fonte de matéria orgânica e, em menores proporções, como fonte de água (COMPARETTI *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2012; HOOTON; NI; WANG, 2019). Além disso, em alguns trabalhos, como os de Lu e Xu (2021), Tan *et al.* (2020) e Xu *et al.* (2019) têm mostrado o potencial que alguns digestatos podem ter para o enriquecimento e correção de solos.

Digestatos derivados de processos de digestão anaeróbia têm sido usados como fonte única ou parcial de nutrientes para diferentes culturas em hidroponia (CESARO, 2021; PELAYO LIND *et al.*, 2021; RONGA *et al.*, 2019; WEIMERS *et al.*, 2022) ou em cultivos em solo (CESARO, 2021; CHEONG *et al.*, 2020; FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2021). Culturas como forrageiras (FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2021), microalgas (CESARO, 2021), viveiros de citros (TORRISI *et al.*, 2021), hortaliças (PELAYO LIND *et al.*, 2021; RONGA *et al.*, 2019) já receberam esse biofertilizante como fonte de nutrientes, trazendo bons resultados na produtividade das culturas.

Conhecer a composição dos digestatos anaeróbios é primordial para realização de um manejo adequado desses subprodutos e para o desenvolvimento de regulamentações e recomendações de uso dos mesmos na agricultura (COELHO *et al.*, 2018). No entanto, a caracterização dos digestatos dependem de diversos fatores variáveis, o que dificulta esse processo, tais como: características do inóculo, tipo e composição do substrato, taxa de alimentação, especificações e configurações

do biodigestor, condições climáticas e operacionais, e, tempo de residência (AKHIAR, 2017; AL SEADI *et al.*, 2008).

Atualmente existem muitos modelos de biodigestores, dos quais cita-se: biodigestor modelo indiano, chinês, canadense, batelada, fluxo tubular, reatores UASB, entre outros. Biodigestores portáteis comerciais como o HomeBiogas™ 2.0 e 7.0 têm sido comercializados como alternativas de bom custo-benefício para o uso doméstico. Esse equipamento vem sendo comercializado por possuir uma estrutura simples e compacta, de fácil instalação e operação (BIOMOVEMENT, 2022).

Ainda não existem muitas informações a respeito das propriedades biológicas, microbiológicas e físico-químicas dos biofertilizantes produzidos por equipamentos portáteis domésticos, isso tem limitado sua utilização, pois com poucas informações sobre sua aplicação e sem recomendações seguras de uso, o digestato tem sido desprezado. Em alguns casos, quando utilizado sem conhecimento prévio, podem gerar danos ambientais, na cadeia de produção, no produto cultivado e na saúde das pessoas envolvidas, como abordado por Nkoa (2013).

Diante do apresentado e da necessidade de mais informações dos digeridos anaeróbios, ressaltado por Nkoa (2013), objetivou-se com este trabalho caracterizar as propriedades físico-químicas e biológicas do digestato produzido pelo HomeBiogas™ 2.0, alimentado com resíduos sólidos orgânicos domésticos, e avaliar a viabilidade de sua aplicação via sistema de irrigação localizada.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

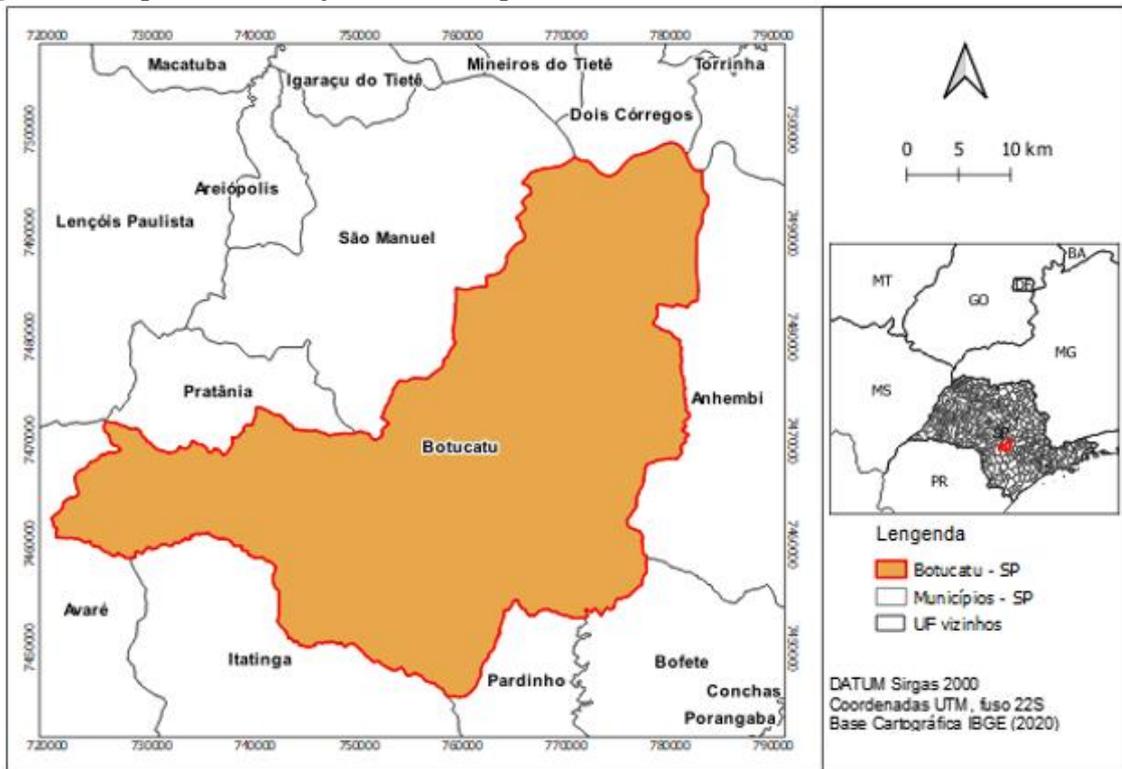
### 4.1 Localização

A pesquisa foi desenvolvida no Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia da Faculdade de Ciências

Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCA/UNESP) campus de Botucatu/SP, localizado nas coordenadas: 22° 51' 9,55" Sul e 48° 25' 49,55" Oeste, com 786 m de altitude. De acordo com a classificação de

Köppen, o município (Figura 1) apresenta classificação climática como Cfa - clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com precipitação média anual de 1.428,4 mm e temperatura média anual de 20,3°C (CUNHA; MARTINS, 2009).

**Figura 1.** Mapa de localização do município de Botucatu-SP



Fonte: Autoria própria (2022)

#### 4.2 Instalação e ativação do biodigestor HomeBiogas™ 2.0

A instalação e montagem do HomeBiogas™ 2.0 foram feitas seguindo as recomendações da Biomovement (2022). Para formação do inóculo e ativação do biodigestor foi preenchida toda a câmara de digestão com água, obtida da Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo (SABESP), e, logo em seguida, adicionado cerca de 200 L de esterco fresco. O esterco utilizado foi obtido do confinamento de gado

da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da UNESP, que no período comportava bezerras de 9 meses da raça F1 Angus. A composição da dieta alimentar dos animais era de 80% concentrado (milho e soja) e 20% volumoso (bagaço de cana), que segundo Costa *et al.* (2016), é uma alimentação favorável para o processo de digestão anaeróbia e tem grande potencial de geração de biogás. O biodigestor montado e em operação é apresentado pela Figura 2.

**Figura 2.** Representação do HomeBiogas™ instalado e em operação<sup>1</sup>

**Fonte:** Autoria própria (2022)

<sup>1</sup> Os autores não sugerem a compra do produto, ele apenas foi utilizado na condução do trabalho.

Após as etapas de instalação e montagem, o sistema permaneceu em repouso para que as comunidades microbianas se multiplicassem, estabelecendo o sistema que posteriormente viria a hidrolisar os substratos adicionados. O tempo total de repouso foi de 52 dias, quando o biodigestor gerou gás inflamável para a primeira chama estável. Somente após esse momento foi iniciada a alimentação do biodigestor conforme descrito no Tópico 4.3.

#### 4.3 Caracterização do substrato orgânico e alimentação do biodigestor

O substrato utilizado para alimentar o biodigestor foi formado por resíduos sólidos orgânicos domésticos (RSD), composto basicamente por restos e cascas de frutas, legumes, verduras, ovos e sobras de refeições. O teor médio de sólidos totais dos RSD utilizado foi de 23%, desses, cerca de

87,5% foram compostos por sólidos voláteis e 12,5% sólidos fixos. A relação C/N foi de 17/1 e pH médio de 5,4.

A alimentação do biodigestor foi realizada pela adição diária de 1 Kg de RSD. O substrato não foi submetido a nenhum processo de redução de tamanho ou tratamento térmico. Devido a ejeção do líquido da câmara do biodigestor à medida que o gás era gerado, foi adicionado diariamente, junto com os RSD, 4 a 8 L de água.

#### 4.5 Análises do digestato

O digestato gerado na saída do HomeBiogas 2.0, sem receber nenhum tipo de tratamento como secagem ou filtração, foi submetido a análises físico-químicas e biológicas. As análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água da FCA/UNESP, em intervalos de tempos semanais, quinzenais e/ou mensais, entre

junho e dezembro de 2021. Os parâmetros avaliados, bem como a metodologia

utilizada para realização de cada análise são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Parâmetros de qualidade dos efluentes analisados e metodologias adotadas

Parâmetro	Método	Referência <sup>2</sup>
pH	Electrometric Method	4500-H <sup>+</sup> B
CE (mS.cm <sup>-1</sup> )	Laboratory Method	2510 B
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	Respirometric Method	5210 D
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Closed Reflux, Colorimetric	5220 D
N (mg.L <sup>-1</sup> de N)	Persulfate Digestion Method	4500-N C
P (mg.L <sup>-1</sup> de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Persulfate Method	4500-P
K (mg.L <sup>-1</sup> de K)	Potassium Permanganate spectrophotometric Method	4500-K B
Coliformes Totais (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	Enzyme Substrate Test with Multi-well procedure	9223 B
<i>E. Coli</i> (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	Enzyme Substrate Test with Multi-well procedure	9223 B
<i>Salmonella</i> spp.	Quantitative MPN	9260 B
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Total Solids Dried at 103-105°C	2540 B
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	Total Suspended Solids Dried at 103-105°C	2540 D
SDT (mg.L <sup>-1</sup> )	ST-SST	-
SF (mg.L <sup>-1</sup> )	Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C	2540 E
SV (mg.L <sup>-1</sup> )	Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C	2540 E

<sup>2</sup> Todas as referências são provenientes da 23ª edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA (2017); DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO – Demanda Química de Oxigênio; CE- Condutividade Elétrica; N- Nitrogênio; P- Fósforo; K- Potássio; ST- Sólidos Totais; SST- Sólidos Suspensos Totais; SDT- Sólidos Dissolvidos Totais; SF- Sólidos Fixos; SV- Sólidos Voláteis.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume de digestato gerado diariamente pelo HomeBiogas™ 2.0, após a estabilização do sistema, foi entre 4 e 8 L. O biofertilizante era composto por líquido e sólido, sendo o líquido a parte mais expressiva. Na Figura 3, apresentada abaixo, são exibidas três imagens que ilustram o digestato produzido pelo biodigestor. Nas

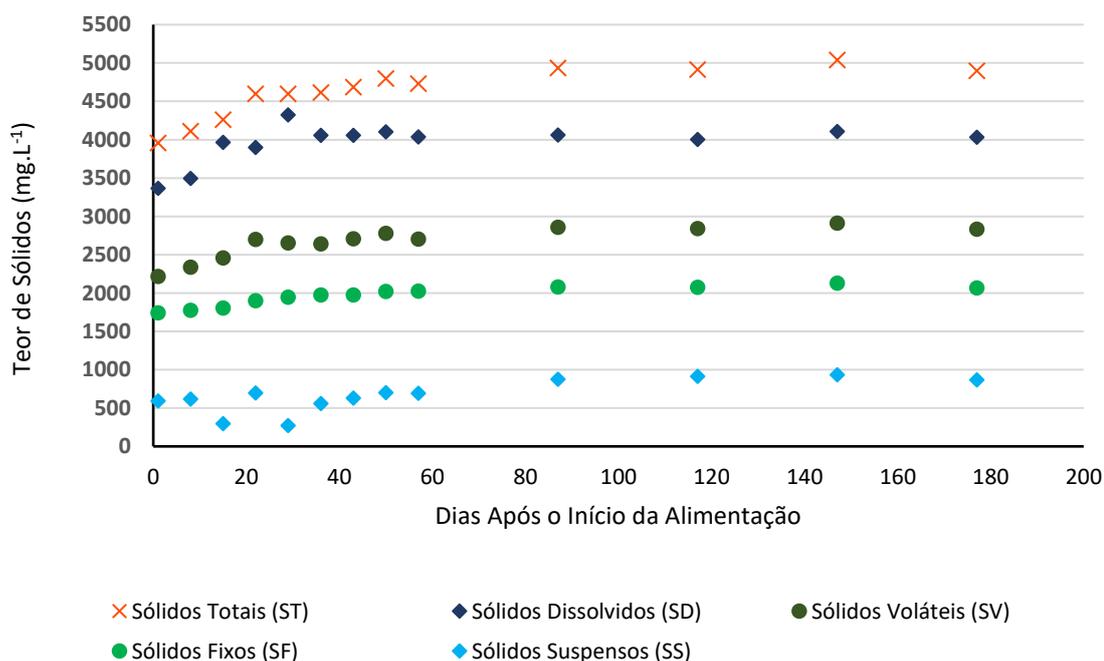
duas primeiras imagens, pode-se visualizar a acumulação do digestato ao longo de um período de 24 horas, que correspondia ao intervalo utilizado para realizar a coleta. Na terceira imagem, é apresentada a situação do balde após a retirada do digestato, evidenciando-se a presença de partículas sólidas maiores que costumavam se depositar na parte inferior do recipiente.

**Figura 3.** Digestato obtido a partir do biodigestor HomeBiogas™ 2.0

Fonte: Autoria própria (2022)

Quanto aos teores de sólidos, o digestato apresentou um teor de sólidos totais (ST) menor no início das análises (Figura 4), isso aconteceu porque nesse período estava-se iniciando a alimentação com os resíduos orgânicos. Com o tempo, cerca de 80 dias após o início da

alimentação, é possível observar que o sistema tendeu a um comportamento linear, que indicou a estabilização da atividade microbiana do sistema sob a carga orgânica diária adicionada. O teor de ST médio após a estabilização foi de 4.946,42 mg.L<sup>-1</sup> com desvio padrão de 63,7 mg.L<sup>-1</sup>.

**Figura 4.** Comportamento do teor de sólidos do efluente obtido pelo Homebiogas™ 2.0 com o tempo

Fonte: Autoria própria (2022)

Assim como os ST, os sólidos dissolvidos (SD), os sólidos suspensos (SS), os sólidos voláteis (SV) e os sólidos fixos (SF) tendem a apresentar um comportamento estável após os 80 dias do início da alimentação, obtendo teores

médios, após a estabilização, de 4.049,75 mg.L<sup>-1</sup> para SD, 896,67 mg.L<sup>-1</sup> para os SS, 2.859,75 mg.L<sup>-1</sup> para SV e 2.086,67 mg.L<sup>-1</sup> para SF.

A partir dos resultados supracitados, constatou-se que o digestato apresentou

teores de SS e SD muito acima do recomendado por Nakayama e Bucks (1986), demonstrando que seu uso pode vir a causar grandes problemas se conduzido e aplicado via sistemas de irrigação localizada. A vista disso, para realização de sua aplicação via estes sistemas de irrigação localizada é essencial que seja realizado um pós-tratamento para o digestato.

As características químicas e biológicas do biofertilizante, bem como o resultado do cálculo da RAS, estão presentes na Tabela 3. Através dos resultados é possível constatar que o digestato gerado apresenta pH próximo ao neutro, com tendência básica, este efeito é comum em efluentes de reatores anaeróbios (ANGOURIA-TSOROCHIDOU; THOMSEN, 2021; BARZEE *et al.*, 2019; JABEEN *et al.*, 2015; VOĆA *et al.*, 2005). Ademais, é importante destacar que o pH do biofertilizante foi mantido entre 7 e 8, o que

está em conformidade com o intervalo recomendado para biofertilizantes agrícolas estabelecido na Resolução CONAMA N°503 de 2021, o qual varia entre 5 e 9.

Assim como os SS e os SD, o teor de Fe também foi superior ao recomendado por Nakayama e Bucks (1986), aumentando a restrição do uso direto deste efluente via sistemas de irrigação localizada.

O valor da CE foi elevado, o que evidencia a alta concentração de íons dissolvidos, resposta esperada por se tratar de digestão de elementos ricos e com alta carga orgânica (ANGOURIA-TSOROCHIDOU; THOMSEN, 2021; BARZEE *et al.*, 2019; VOĆA *et al.*, 2005). Com os valores de CE e RAS o digestato foi classificado como C4S1 (RICHARDS, 1954), indicando baixo risco de sodicidade e um risco muito alto de salinização do solo, apontando a necessidade de um uso planejado e controlado.

**Tabela 3.** Características químicas e biológicas do digestato obtido como efluente do HomeBiogas

Parâmetros	Média	Desvio Padrão	C.V. (%)
pH	7.22	0.58	8.0
CE (mS.cm <sup>-1</sup> )	4.72	0.58	12.2
N <sub>total</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	349.74	91.17	26.1
P (mg.L <sup>-1</sup> )	95.40	54.39	57.0
K (mg.L <sup>-1</sup> )	544.19	138.20	25.4
Ca (mg.L <sup>-1</sup> )	160.77	20.86	13.0
Mg (mg.L <sup>-1</sup> )	115.86	35.43	30.6
Na (mg.L <sup>-1</sup> )	132.65	78.49	59.2
Cu (mg.L <sup>-1</sup> )	0.08	0.06	76.9
Fe (mg.L <sup>-1</sup> )	2.72	1.44	53.1
Mn (mg.L <sup>-1</sup> )	1.09	0.80	73.3
Zn (mg.L <sup>-1</sup> )	0.30	0.08	28.0
RAS	1.95	-	-
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	5855.37	559.93	9.6
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	3131.28	546.37	17.4
CT (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	91779.29	121222.13	132.1
<i>E.Coli</i> (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	530.92	436.83	82.3
<i>Salmonella</i> spp.	0	0	0

Fonte: Autoria própria (2022)

Embora o biofertilizante seja gerado de resíduos orgânicos residenciais, o teor de nutrientes e CE obtidos neste experimento foram baixos ao se comparar com os valores obtidos por Voça *et al.* (2005) e Barzee *et al.* (2019) que também trabalham com resíduos alimentares. Essa variabilidade pode ocorrer por vários fatores, mas acredita-se que isso se deu principalmente pela grande quantidade de água que tinha no sistema e a baixa quantidade de carga orgânica inserida diariamente no biodigestor que foi utilizado neste trabalho.

O digestato obtido pelo HomeBiogas 2.0, com a carga orgânica de resíduos orgânicos residenciais inseridos diariamente, apresentou uma relação média de NPK de 3,7;1;5,7, além de conter micronutrientes e matéria orgânica, como apontado pela Tabela 3, podendo gerar melhoria nas características microbiológicas do solo, aumento de matéria orgânica do solo e aumento de produtividade agrícola se utilizados de forma controlada e planejadas.

Além dos parâmetros já mencionados, notou-se a partir da Tabela 3, que o digestato apresentou contagem para coliformes totais e *E. coli*, com médias após estabilização de  $9,2 \cdot 10^4$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> e 530,92 NMP.100 mL<sup>-1</sup>, e não apresentou presença de *Salmonella* spp. A partir disso, constatou-se que o digestato apresentou características microbiológicas satisfatórias para aplicação em culturas agrícolas, pois o teor de *E. coli* foi menor que 1.000 NMP.100 mL<sup>-1</sup> e não teve presença de *Salmonella* spp., atendendo assim aos critérios estabelecidos pela resolução CONAMA (2021) e padrões internacionais estabelecidos por WHO (2006).

## 6 CONCLUSÃO

O digestato obtido pelo HomeBiogas™ 2.0 apresentou características físico-químicas e microbiológicas interessantes para uso

agrícola, podendo atuar como fonte de matéria orgânica para solos e fonte de nutrientes para qualquer cultura agrícola. Sua aplicação deve ocorrer de forma planejada, levando em consideração as demandas nutricionais da cultura, a matéria prima usada no biodigestor e as condições de operação do biodigestor. As propriedades do solo e o sistema de irrigação também devem ser avaliadas antes da aplicação do biofertilizante na cultura. Além disso, como os níveis de sólidos e ferro foram medidos acima dos valores recomendados para a aplicação via irrigação localizada, apresentando alto risco de obstrução, recomenda-se realizar um tratamento adicional do digestato, caso haja interesse em utilizá-lo nesse tipo de método de irrigação.

## 7 REFERÊNCIAS

- AKHIAR, A. **Characterization of Liquid Fraction of Digestates After Solid-liquid Separation from Anaerobic Co-digestion Plants**. Thesis (Doctorate in Chemical and Process Engineering) – Université Montpellier, Montpellier, 2017.
- AL SEADI, T.; RUTZ, D.; PRASSL, H.; KOTTNER, M.; FINSTERWALDER, T.; SILKE VOLK, R. J. **Biogas Handbook**. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg, 2008.
- APHA. **Standard methods**: For the examination of water and waste water. 23. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.
- ANGOURIA-TSOROCHIDOU, E.; THOMSEN, M. Modelling the quality of organic fertilizers from anaerobic digestion – comparison of two collection systems. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 304, p. 1-11, 2021.

- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2019.
- BARENDAR, P.; KHARE, V.; NEMA, S. **Design and Optimization of Biogas Energy Systems**. Chennai: Academic Press, 2020.
- BARLÓG, P.; HLISNIKOVSKÝ, L.; KUNZOVÁ, E. Yield, Content and Nutrient Uptake by Winter Wheat and Spring Barley in Response to Applications of Digestate, Cattle Slurry and NPK Mineral Fertilizers. **Archives of Agronomy and Soil Science**, London, v. 66, n. 11, p. 1-16, 2020.
- BARZEE, T. J.; EDALATI, A.; EL-MASHAD, H.; WANG, D.; SCOW, K.; ZHANG, R. Digestate Biofertilizers Support Similar or Higher Tomato Yields and Quality Than Mineral Fertilizer in a Subsurface Drip Fertigation System. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Lausanne, v. 3, article 58, p. 1-13, 2019.
- BIOMOVEMENT. **HomeBiogas**. [S. l.]: HOME BIOGAS, 2022. Disponível em: <https://www.homebiogas.com/>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- CESARO, A. The valorization of the anaerobic digestate from the organic fractions of municipal solid waste: Challenges and perspectives. **Journal of Environmental Management**, London, v. 280, article 111742, p. 1-13, 2021.
- CHEONG, J. C.; LEE, J. T. E.; LIM, J. W.; SONG, S.; TAN, J. K. N.; CHIAM, Z. Y.; YAP, K. Y.; LIM, E. Y.; ZHANG, J.; TAN, H. T. W.; TONG, Y. W. Closing the food waste loop: Food waste anaerobic digestate as fertilizer for the cultivation of the leafy vegetable, xiao bai cai (Brassica rapa). **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 715, article 136789, p. 1-12, 2020.
- COELHO, J. J.; PRIETO, M. L.; DOWLING, S.; HENNESSY, A.; CASEY, I.; WOODCOCK, T.; KENNEDY, N. Physical-chemical Traits, Phytotoxicity and Pathogen Detection in Liquid Anaerobic Digestates. **Waste Management**, Oxford, v. 78, p. 8-15, 2018.
- COMPARETTI, A.; FEBO, P.; GRECO, C.; ORLANDO, S. Current State and Future of Biogas and Digestate Production. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Bulgaria, v. 19, n. 1, p. 1-14, 2013.
- CONAMA. Resolução CONAMA nº 503, de 14 de dezembro de 2021. Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 503, p. 1-9, 14 de dez, 2021.
- COSTA, M. S. S. M.; LUCAS, J.; COSTA, L. A. M.; ORRICO, A. C. A. A highly Concentrated Diet Increases Biogas Production and the Agronomic Value of Young Bull's Manure. **Waste Management**, Oxford, v. 48, p. 521-527, 2016.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Climatic classification for the districts of Botucatu and São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.
- DOYENI, M. O.; STULPINAITE, U.; BAKSINSKAITE, A.; SUPRONIENE, S.; TILVIKIENE, V. The Effectiveness of Digestate Use for Fertilization in an Agricultural Cropping System. **Plants**, Basel, v. 10, n. 8, p. 1-13, 2021.
- FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M. J.; MANCILLA-LEYTÓN, J. M.; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, A.; BORJA, R.; RINCÓN,

- B. Reuse of the digestate obtained from the biomethanization of olive mill solid waste (OMSW) as soil amendment or fertilizer for the cultivation of forage grass (*Lolium rigidum* var. *Wimmera*). **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 792, article 148465, p. 1-8, 2021.
- FERREIRA, A. K. C.; DIAS, N. D. S.; SOUSA JUNIOR, F. S.; FERREIRA, D. A. C.; FERNANDES, C. D. S.; LUCAS, L. E. F.; TRAVASSOS, K. D.; SÁ, F. V. S. Physicochemical and Microbiological Properties and Humic Substances of Composts Produced with Food Residues. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 10, n. 1, p. 180-189, 2018.
- HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management**. 15. ed. Washington, DC: World Bank, 2012.
- HOOTON, E.; NI, Y. S.; WANG, C. Is biodigester effluent a suitable replacement for commercial fertilizers? Assessing the efficacy of liquid biogas digestate for cultivation of tomato (*solanum lycopersicum*) crops in barbados. **Journal of Sustainable Tropical Agriculture**, Montreal, p. 1-40, 2019.
- JABEEN, M.; ZESHAN; YOUSAF, S.; HAIDER, M. R.; MALIK, R. N. High-solids Anaerobic Co-digestion of Food Waste and Rice Husk at Different Organic Loading Rates. **International Biodeterioration and Biodegradation**, Barking, v. 102, p. 149-153, 2015.
- LIND, O. P.; HULTBERG, M.; BERGSTRAND, K. J.; LARSSON-JÖNSSON, H.; CASPERSEN, S.; ASP, H. Biogas Digestate in Vegetable Hydroponic Production: pH Dynamics and pH Management by Controlled Nitrification. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 12, n. 1, p. 123-133, 2021.
- LU, J.; XU, S. Post-treatment of food waste digestate towards land application: A review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 303, p. 1-12, 2021.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle Irrigation for Crop Production**. Amsterdam: Elsevier, 1986.
- NKOA, R. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 34, n. 2, p. 473-492, 2013.
- O'REILLY, M. C. **Characterization of anaerobic digestates for their nitrogen fertility value and improved nutrient management**. Theses (Master of Science in Environmental Sciences) – University of Guelph, Guelph, 2014.
- PERRUCCI, G. G. S.; RODRIGUES, G. O. **Resíduos Orgânicos e a Aplicação Doméstica do Biogás Gerado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- RAKASCAN, N.; DRAZIC, G.; POPOVIC, V.; MILOVANOVIC, J.; ZIVANOVIC, L.; REMIKOVIC, M. A.; MILANOVIC, T.; IKANOVIC, J. Effect of digestate from anaerobic digestion on *Sorghum bicolor* L. production and circular economy. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici**, Cluj-Napoca, v. 49, n. 1, p. 1-13, 2021.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: United States Salinity Laboratory, 1954. (United States Department of Agriculture Handbook, 60).

- RONGA, D.; SETTI, L.; SALVARANI, C.; DE LEO, R.; BEDIN, E.; PULVIRENTI, A.; MILC, J.; PECCHIONI, N.; FRANZIA, E. Effects of solid and liquid digestate for hydroponic baby leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 244, p. 172-181, 2019.
- SILVA, C. E. V. **Sustentabilidade:** Avaliação da produção de biogás em um biodigestor de pequena escala. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2021.
- SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P.; KUROKI, V.; MARTELLI, L. F. A.; MAGNONI, L. Avaliação Físico-química de Efluente Gerado em Biodigestor Anaeróbico para Fins de Avaliação de Eficiência e Aplicação como Fertilizante Agrícola. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 35-40, 2012.
- TAN, F.; ZHU, Q.; GUO, X.; HE, L. Effects of digestate on biomass of a selected energy crop and soil properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 101, n. 3, p. 927-936, 2020.
- TORRISI, B.; ALLEGRA, M.; AMENTA, M.; GENTILE, F.; RAPISARDA, P.; FABRONI, S.; FERLITO, F. Physico-chemical and multielemental traits of anaerobic digestate from Mediterranean agro-industrial wastes and assessment as fertiliser for citrus nurseries. **Waste Management**, Oxford, v. 131, p. 201-213, 2021.
- VOĆA, N.; KRIČKA, T.; ČOSIĆ, T.; RUPIC, V.; JUKIĆ, Ž.; KALAMBURA, S. Digested residue as a fertilizer after the mesophilic process of anaerobic digestion. **Plant, Soil and Environment**, Praha, v. 51, n. 6, p. 262-266, 2005.
- WEIMERS, K.; BERGSTRAND, K.-J.; HULTBERG, M.; ASP, H. Liquid Anaerobic Digestate as Sole Nutrient Source in Soilless Horticulture—Or Spiked With Mineral Nutrients for Improved Plant Growth. **Frontiers in Plant Science**, New Haven, v. 13, p. 1-13, 2022.
- WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater guidelines.** Wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization, 2006. v. 2.
- XU, M.; XIAN, Y.; WU, J.; GU, Y.; YANG, G.; ZHANG, X.; PENG, H.; YU, X.; XIAO, Y.; LI, L. Effect of biogas slurry addition on soil properties, yields, and bacterial composition in the rice-rape rotation ecosystem over 3 years. **Journal of Soils and Sediments**, Heidelberg, v. 19, n. 5, p. 1-8, 2019.