

AVALIAÇÃO DE DIGESTATO PROVENIENTE DE RESÍDUOS ALIMENTARES POR MEIO DE ENSAIO DE GERMINAÇÃO

DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020329-344>



Flora Würth Simon¹
Armando Borges de Castilhos Junior²

RESUMO

Em processos de digestão anaeróbia são obtidos o biogás, que pode ser aproveitado de diferentes formas; e o digestato, que pode ser utilizado como fertilizante ou condicionador do solo na agricultura por conter níveis elevados de macro e micronutrientes. A qualidade do digestato está relacionada com a ausência de fitotoxicidade, sendo necessária também a avaliação de sua composição. Neste estudo, foram realizadas análises físico-químicas de digestato produzido a partir da digestão anaeróbia de resíduos alimentares do restaurante universitário da UFSC – Campus Trindade, bem como um ensaio de germinação para avaliação da fitotoxicidade. O ensaio foi realizado utilizando-se 50 sementes de alface por tratamento, e aplicando-se as diluições no digestato de 100 % (puro), 50 %, 25 %, 10 % e 5 %. O digestato apresentou alguns parâmetros similares aos de outros autores, mas apresentou teor de nitrogênio mais baixo. Em relação ao ensaio realizado, o índice de germinação foi maior do que 75 % para todas as diluições testadas, exceto para o digestato puro. Sugere-se que sejam realizados outros ensaios de germinação com cargas orgânicas diferentes no digestor, para avaliar o efeito nas sementes, bem como um experimento em vasos.

Palavras-chave: Digestato. Resíduos Orgânicos. Ensaio de Germinação. Condicionador do solo. Biofertilizante.

¹ Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. E-mail: florawsimon@gmail.com

² Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Supervisor do Laboratório de Pesquisas em Resíduos Sólidos – LARESO. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. E-mail: armando.borges@ufsc.br

EVALUATION OF DIGESTATE FROM FOOD WASTE THROUGH GERMINATION TEST

ABSTRACT

In anaerobic digestion processes are obtained the biogas, which can be used in many different ways, and the digestate, which can be used as biofertilizer or soil amendment in agriculture because it contains high levels of macro and micronutrients. The quality of the digestate is related to the absence of phytotoxicity, but is also necessary to evaluate its composition. In this study, physicochemical analysis of digestate derived from anaerobic digestion of food waste, which come from the University Restaurant of UFSC, were performed. It was also performed a germination test in order to evaluate its phytotoxicity. The test was carried out using 50 seeds of lettuce per treatment, and applying the digestates dilutions of 100 % (pure), 50 %, 25 %, 10 % and 5 %. The digestate presented some parameters similar to those of other authors, but presented lower nitrogen content. Regarding the germination test, the germination index was higher than 75 % for all dilutions tested, except for pure digestate. It is suggested that other germination tests must be performed, using different organic loading rates in the digester, in order to evaluate the effect on seeds, as well as a pot experiment.

Key words: Digestate. Organic Residues. Germination Test. Soil amendment. Biofertilizer.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a geração de resíduos sólidos urbanos anual passou de 61,5 milhões de toneladas, em 2007, para 78,3 milhões, em 2016, um aumento de mais de 20 % (ABRELPE, 2015a; ABRELPE, 2015b). Em relação ao total de resíduos coletados, cerca de 50 % são representados por material orgânico (SNIS, 2016). Em sua maior parte, esse material é disposto em aterros ou lixões, ocasionando inúmeros problemas ambientais, como por exemplo a geração de gases do efeito estufa e formação de lixiviados.

Uma das opções para desviar a disposição de resíduos - em especial os orgânicos - dos aterros é o tratamento dos mesmos por processos anaeróbios de degradação (CHARLES et al., 2009). A digestão anaeróbia pode ser utilizada para estabilizar diversos substratos orgânicos, e cerca de 20-95 % da matéria orgânica é

degradada, dependendo da composição de cada substrato (MÖLLER e MÜLLER, 2012).

O tratamento por digestão anaeróbia gera subprodutos que podem ser aproveitados, os quais são o biogás e o digestato. O biogás pode reduzir as emissões de gases do efeito estufa quando em comparação ao uso dos combustíveis fósseis, e o digestato pode ser utilizado como fertilizante orgânico ou condicionador do solo na agricultura (NKOA, 2014; CECCHI e CAVINATO, 2015; DOGAN-SUBASI e DEMIRER, 2016).

Neste contexto, uma linha de pesquisa em biodigestão de resíduos orgânicos vem sendo desenvolvida no Laboratório de Pesquisas em Resíduos Sólidos (LARESO) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), desde 2014. Um sistema piloto para metanização de resíduos alimentares da UFSC foi instalado nas dependências do antigo Restaurante Universitário (RU), localizado no campus Trindade, Florianópolis, Santa Catarina.

Atualmente este sistema, que foi operado com um estágio por Malinowsky (2016), opera com dois estágios: o primeiro estágio composto por um reator acidogênico e o segundo por um reator metanogênico. Atualmente, pesquisas em desenvolvimento visam otimizar o primeiro estágio e obter geração de biogás no segundo. O objetivo deste estudo é avaliar a composição e o potencial agrônômico do digestato, gerado ao final do segundo estágio no digestor metanogênico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O digestato resultante do processo de digestão anaeróbia trata-se de uma mistura de biomassa microbiana e material não digerido que é produzido em grandes quantidades (MONLAU et al., 2015), variáveis com o substrato utilizado. A heterogeneidade de alguns tipos de substrato, como os resíduos alimentares, é um desafio para o controle de qualidade do digestato (DU et al., 2018). Antes de poder ser utilizado como um fertilizante, a composição química do digestato deve ser medida de forma a evitar a contaminação do solo (ZIRKLER et al., 2014).

Dentre os compostos que estão presentes no digestato, os macronutrientes nitrogênio e fósforo se destacam por serem essenciais às plantas. O nitrogênio é o mineral requerido em maiores quantidades (TAIZ et al., 2017), sendo um constituinte de muitos componentes celulares vegetais. No solo, o nitrogênio encontra-se

principalmente em forma orgânica, sendo as restantes formas inorgânicas de amônia, NH_4^+ , e nitrato, NO_3^- . A conversão da forma orgânica, que não é disponível para as plantas; para a forma inorgânica, aproveitável pelas plantas, é realizada pelos micro-organismos existentes no solo (ROBERSTON e GROFFMANN, 2015).

A determinação do nitrogênio também está relacionada à relação Carbono:Nitrogênio, parâmetro essencial no equilíbrio do digestor. Igoni et al. (2008) e Khalid (2011) citam a relação C/N como um fator limitante na biodegradação de compostos orgânicos, uma vez que o carbono representa a fonte de energia dos micro-organismos e o nitrogênio acentua o crescimento bacteriano.

Segundo Ostrem (2004), baixas relações C/N podem conduzir o sistema ao acúmulo de amônia, e à conseqüente elevação do pH (acima de 8,5) e à inibição dos organismos metanogênicos. Por outro lado, elevadas razões C/N induzem o rápido consumo do nitrogênio pelas bactérias metanogênicas e menores taxas de produção de biogás. Muitos autores consideram ótima a relação C/N de 20/1 até 30/1 para o crescimento bacteriano na digestão anaeróbia (LI et al., 2011).

O fósforo como nutriente é um componente integral de compostos importantes nas células vegetais, além de ser um componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas e no DNA e no RNA (TAIZ et al., 2017). De acordo com Oehl et al. (2004), os micro-organismos no solo são capazes de mineralizar moléculas de fósforo orgânico e integrá-lo à biomassa. Entretanto, ainda não está totalmente esclarecido como a digestão anaeróbia afeta a disponibilidade de fósforo para os micro-organismos e as plantas. Estudar estes processos a partir da aplicação do digestato no solo é de particular importância, porque as fontes naturais de fósforo estarão exauridas em médio prazo (DAWSON e HILTON, 2011).

Além destes macronutrientes, o pH também destaca-se por ser um parâmetro relevante no processo de digestão anaeróbia, sendo que cada grupo de micro-organismos possui faixas ideais para o seu desenvolvimento. O principal objetivo do controle do pH é evitar a inibição dos microrganismos metanogênicos. A faixa ideal de pH em reatores anaeróbios situa-se entre 6,5 e 7,5, mas as bactérias metanogênicas podem crescer em pH entre 6,0 e 8,0 (CHERNICARO, 2007); sendo que o pH do digestato geralmente é alcalino (MAKÁDI et al., 2012). Além da caracterização físico-química do digestato, muitos autores fazem ensaios de germinação para verificar sua

toxicidade. Segundo Baffi et al. (2007), a qualidade do digestato está relacionada com a ausência de fitotoxicidade e a presença de elementos orgânicos e inorgânicos.

O índice de germinação (IG) é obtido após a realização de ensaio de germinação em lotes de sementes previamente escolhido. Zucconi et al. (1981) reportaram que o valor deste índice deve estar acima de 80 % para ser um indicativo de ausência de fitotoxicidade, embora McLachlan et al. (2004) considere índices acima de 70 %. Sugestões similares foram reportadas por Tiquia e Tam (1998). O ensaio de germinação deve ser realizado em ambiente de laboratório, sob condições controladas de temperatura, teor de água e luz, de forma a evitar interferências internas indesejáveis (FERREIRA e BORGHETTI, 2004). Para o presente estudo decidiu-se escolher sementes de alface, pois por possuir ciclo curto ela costuma ser utilizada em testes com o digestato. Além disso, a alface é a hortaliça folhosa mais consumida no país, apresenta grande resposta à adubação nitrogenada e a altos teores de água no solo, além de possuir grande potencial de produção com adubos orgânicos (SANTOS et al., 2011).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização do digestato

A caracterização do digestato foi realizada através de análises físico-químicas, após coleta no reator metanogênico e avaliação no LARESO da UFSC. Os parâmetros e seus respectivos métodos de análise estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos e métodos de análise

Parâmetro	Método
pH	Potenciométrico*
Carbono Orgânico Total	Oxidação por combustão catalítica
Fósforo Total	Método Vanadatolibdato 4500C**
Nitrogênio Total Kjeldahl	Destilação Kjeldahl **
Nitrogênio Amoniacal	Titulométrico 4500 NH ₃ C**
Sólidos Totais, Fixos e Voláteis	Método evaporação em chapa aquecida 2540 **

* Parâmetros mensurados em equipamentos de bancada e/ou medição direta

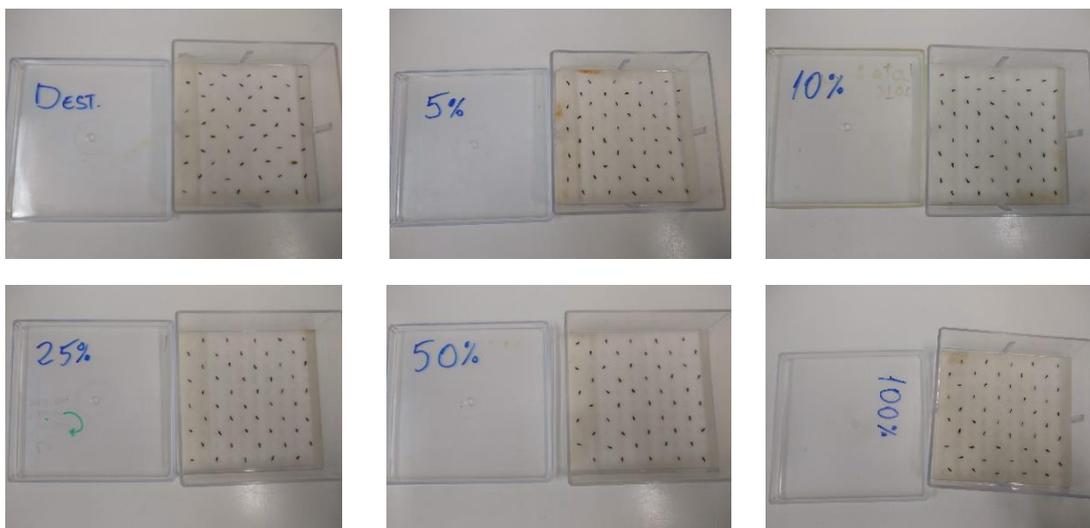
** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005)

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

3.2 Descrição do ensaio de germinação

A avaliação da fitotoxicidade do digestato foi realizada por meio de um ensaio biológico de germinação com o uso de sementes de *Lactuca sativa* (alface). Para realização do bioensaio, foram utilizadas caixas de germinação gerbox com dois papéis filtros (base e tampa), bem como pinça para inserção das sementes. O ensaio foi realizado de acordo com metodologias aplicadas por outros autores, que serão comentados mais adiante. Foram aplicados 12,5 ml de digestato por caixa de gerbox, para molhar inteiramente os dois papéis filtros, e depois inseridas 50 sementes por tratamento (Figura 1). As concentrações testadas foram de 100 % digestato, 50 %, 25 %, 10 % e 5 %. Cada tratamento foi replicado em quatro vezes, resultando em um total de 24 tratamentos (5 concentrações x 4 replicatas + 4 controles).

Figura 1: Sementes distribuídas por tratamento.



Após a preparação inicial, as caixas de gerbox com as sementes foram transferidas de forma aleatória para a câmara de germinação do tipo Incubadora BOD (Figura 2), pertencente ao Laboratório de Sementes da UFSC. Foi aplicado um fotoperíodo de 12 horas (iniciando às 7h da manhã) e a temperatura foi mantida a 20 °C.

Figura 2: Incubadora BOD utilizada no ensaio.



A duração do teste, o dia para contagem das sementes, as temperaturas máxima e mínima e o controle de qualidade seguiram a descrição do Manual de Regras para Análise de Sementes, publicado por MAPA (BRASIL, 2016), conforme o **Erro! Autoreferência de indicador não válida..**

Quadro 1: Regras de análise para sementes de alface.

Espécie botânica	Substrato	Temperatura		Contagem Final
		Máxima	Mínima	
Lactuca sativa	SP; EP; SA	20	15	7

SP: sobre papel, EP: entre papel, SA: sobre areia
 Fonte: Manual de Regras de Análise de Sementes (2016)

Ao final dos sete dias de ensaio, as sementes foram contabilizadas e foram medidos os comprimentos radiculares com o uso de paquímetro digital (Figura 3).

Figura 3: Medição do comprimento das raízes.



Foram então realizados os cálculos a seguir para determinação da porcentagem de germinação, conforme equações apresentadas em Abdullahi et al. (2008).

GERMINAÇÃO RELATIVA DE SEMENTES, GRS:

$$\text{GRS}(\%) = \frac{\text{número de sementes germinadas nas amostras}}{\text{número de sementes germinadas no controle}} \times 100$$

1

CRESCIMENTO RELATIVO DE RAÍZES, CRR:

$$\text{CRR}(\%) = \frac{\text{crescimento médio das raízes nas amostras}}{\text{crescimento médio das raízes no controle}} \times 100$$

2

ÍNDICE DE GERMINAÇÃO, IG

$$\text{IG} = \frac{(\% \text{ germinação de sementes}) \times (\% \text{ crescimento das raízes})}{100}$$

3

A análise estatística foi realizada pela Análise da Variância (ANOVA), utilizando-se o software Statistica 8.0 e o teste de significância de Tukey HSD com $p < 0,05$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Parâmetros físico-químicos

A caracterização completa do digestato encontra-se apresentada na Tabela 2, sendo que alguns parâmetros estão apresentados em relação aos sólidos totais, para poderem ser comparados com o de outros autores.

Tabela 2: Parâmetros de caracterização do digestato.

Parâmetro	Medição
pH	6,48
Sólidos Totais - ST (%)	6,6
Sólidos Totais Voláteis – STV (% dos ST)	49,4
Carbono Orgânico Total (%)	24,8
Fósforo Total (g/kg ST)	7,9
Nitrogênio Total Kjeldahl (g/kg ST)	44,2
Nitrogênio Amoniacal (g/kg ST)	36,8
Relação C/N	8,5

Fonte: Elaborado pela autora

O pH medido do digestato foi de 6,48, valor que encontra-se na faixa recomendada na literatura, o que indica boa atividade das bactérias metanogênicas. Em relação aos outros parâmetros, verifica-se que a relação C/N se apresentou mais baixa do que os valores indicados, o que pode ser devido ao acúmulo de amônia no reator. Entretanto, esta relação também pode estar baixa devido à grande quantidade de nitrogênio presente nos resíduos alimentares do restaurante universitário.

Os autores Sheets et al. (2015) fizeram uma revisão da composição do digestato resultante de digestores que operam à base de resíduos alimentares. Estes autores encontraram valores entre 1,4 e 6,1 (%) para os sólidos totais e entre 38-71 (% ST) para os sólidos totais voláteis. O digestato apresentou valores similares de ST e STV.

O parâmetro fósforo apresentou-se dentro da faixa destes autores, entre 6 e 16 (g/kg ST). Para o nitrogênio, os valores situaram-se na faixa entre 112-157 (g/kg ST), sendo que estes valores se referem ao nitrogênio total, enquanto o avaliado neste estudo foi o NTK. Mesmo assim, a quantidade de nitrogênio se mostrou inferior à encontrada no digestato de outros autores. O nitrogênio amoniacal, por sua vez, também se apresentou mais baixo do que a faixa dos outros autores, de 52-108 (g/kg ST).

Deve-se destacar, aqui, que os resultados da Tabela 2 referem-se a uma carga orgânica volumétrica de $6 \text{ kgm}^{-3}\text{d}^{-1}$, e que a quantidade de nitrogênio aumenta com a elevação da carga nos digestores, segundo outros resultados encontrados na continuação desta pesquisa.

4.2 Ensaio de germinação

O ensaio de germinação resultou em um bom índice de germinação para a maior parte das concentrações testadas, exceto para a de 100% digestato, como pode ser visto na Tabela 3 e Fonte: Elaborado pela autora

Figura 4. Conforme citado, alguns autores consideram índice de germinação acima de 70 % como uma indicação de não fitotoxicidade, resultado este presente em todas as concentrações, com exceção do digestato puro - 100 %.

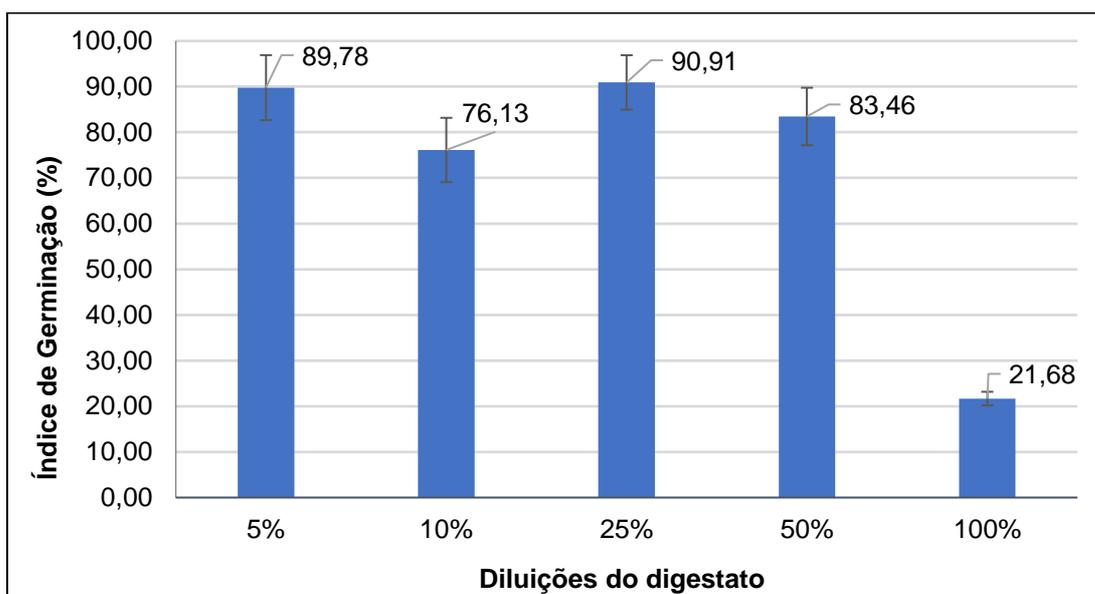
Tabela 3: Resultados do ensaio de germinação.

Porcentagem	GRS	CRR	IG
--------------------	------------	------------	-----------

5%	26,26 +- 7,12	86,85	89,78
10%	23,54 +- 7,04	77,88	76,13
25%	28,78 +- 5,96	95,19	90,91
50%	24,68 +-6,29	81,63	83,46
100 %	7,48 +- 1,49	24,74	21,68

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 4: Índices de germinação por diluição de digestato.



Fonte: Elaborado pela autora

A análise da variância e o teste de Tukey indicaram que as médias dos tratamentos e os índices de germinação nas concentrações de 5 %, 10 %, 25 % e 50 % não apresentaram diferenças estatísticas ($p < 0,05$), sendo que somente o tratamento de 100 % apresentou média diferente dos demais. A concentração de 100 % apresentou reduções significativas tanto no número de sementes germinadas quanto no crescimento das raízes. Muitos autores realizaram o ensaio de germinação para avaliar a toxicidade do digestato, encontrando resultados diferentes. Abdulahhi et al. (2008) analisaram diferentes digestatos, dentre eles um gerado a partir da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos. Os autores testaram as concentrações de 25 %, 50% e digestato puro (100%), com sementes de rabanete incubadas a 25 °C durante 72 horas. Os resultados indicaram fitotoxicidade para todas as concentrações testadas, ocorrendo aumento na germinação de sementes nas concentrações menores, de 25 e 50 %.

Alguns autores buscaram testar concentrações menores de digestato, bem como comparar diferentes tipos. Albuquerque et al. (2012) testaram as concentrações de 100 %, 20 %, 10 %, 1 % e 0,1 %, incubando sementes de agrião, por 3 dias; e alface, por 5 dias. Como resultado, ocorreram variações tanto para os tipos de digestato quanto para as sementes testadas. Entretanto, de forma geral, observou-se que a concentração de 1 % apresentou os melhores resultados de índice germinativo, enquanto que o digestato puro apresentou um índice de 0 % tanto para o agrião quanto para a alface. Os autores Coelho et al. (2018) verificaram a mesma relação inversa entre a condutividade elétrica do digestato e o índice de germinação, observada também em Albuquerque et al. (2012), avaliando as concentrações de 10 %, 25 %, 50 % e 100 % e com agrião de jardim. Ainda, a fitotoxicidade também diminuiu nas diluições menores.

A variação entre as espécies de planta foi avaliada por Panuccio et al. (2015) e Pastor-Bueis et al. (2017). Os primeiros testaram sementes de agrião, alface e pepino durante 7 dias de ensaio. Percebeu-se que as maiores diluições ocasionaram efeitos diferenciados, inibindo a germinação das sementes de alface e agrião, mas sem efeito nas de pepino. Os segundos autores testaram diferentes tipos de digestato na cultura da alface, rabanete, agrião, tomate e pimentão-doce, nas diluições de 10 %, 20 % e 100 %. Para todas as culturas o digestato puro se apresentou altamente fitotóxico, enquanto que na diluição de 10 % houve estímulo no crescimento das sementes de todas as espécies. Na diluição de 20 % houveram variações nas culturas e nos tipos de digestato, ora com estimulação, ora com inibição do crescimento das sementes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo representa parte de uma pesquisa em desenvolvimento no Laboratório em Pesquisa de Resíduos Sólidos – LARESO, da UFSC, cujo objetivo é avaliar o efeito do digestato ao ser aplicado na agricultura; ou seja, se é possível a sua utilização como fertilizante orgânico ou condicionador de solo. Por meio de análises físico-químicas foi possível a obtenção de parâmetros de processo, em que o pH e o fósforo total apresentaram valores próximos aos de outros autores, enquanto

que o teor de nitrogênio e a relação C/N apresentaram valores menores. Deve-se destacar, entretanto, que a variação na carga do digestor pode modificar estes parâmetros. O estudo atualmente em desenvolvimento, realizado pelo grupo de pesquisa em digestão anaeróbia do LARESO, visa à obtenção de análises físico-químicas de forma contínua, buscando-se variar o tempo de detenção hidráulico e a carga orgânica volumétrica nos biodigestores.

Além da caracterização do digestato, foi realizado um ensaio de germinação que apresentou resultados majoritariamente positivos, uma vez que em apenas uma concentração - o digestato puro - houve efeito fitotóxico mais significativo. Ao se avaliar os estudos de outros autores percebe-se que, em todos eles, a concentração de 100 % digestato apresentou problemas na germinação de sementes e no crescimento das raízes, independente da cultura vegetal testada. De forma geral, as diluições menores apresentaram maiores índices de germinação. Para continuação desta pesquisa e maior aprofundamento, sugere-se a realização do ensaio de germinação também com outras cargas orgânicas no reator, para avaliar se os parâmetros analisados apresentam-se mais similares aos de outros autores, e ainda com um resultado que possibilite a utilização do digestato na agricultura. Além disso, esta pesquisa também inclui um estudo em vasos para avaliar o desenvolvimento da alface durante o seu ciclo de crescimento.

REFERÊNCIAS

ABDULLAHI, Y.A.; AKUNNA, J.C.; WHITE, N.A.; HALLETT, P. D.; WHEATLEY, R. Investigating the effects of anaerobic and aerobic post-treatment on quality and stability of organic fraction of municipal solid waste as soil amendment. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 18, p. 8631-8636, 2008.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2007**. São Paulo, 2015a. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2007.pdf>>.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. São Paulo, 2015b. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>.

ALBUQUERQUE, J. A., DE LA FUENTE, C., FERRER-COSTA, A., CARRASCO, L., CEGARRA, J., ABAD, M.; BERNAL, M. P. Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. **Biomass and Bioenergy**, v. 40, p. 181–189, 2012a.

BAFFI, C.; DELL'ABATE, M. T.; NASSISI, A.; SILVA, S.; BENEDETTI, A.; GENEVINI, P. L.; ADANI, F. Determination of biological stability in compost: a comparison of methodologies. **Soil, Biology & Biochemistry**, v. 39, n. 6, p. 1284–1293, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2016, 365 p.

CECCHI, F.; CAVINATO, C. Anaerobic digestion of bio-waste: A mini-review focusing on territorial and environmental aspects. **Waste Management and Research**, v. 33, n. 5, p. 429–438, 2015.

CHARLES, W., WALKER, L.; CORD-RUWISCH, R. Effect of pre-aeration and inoculum on the start-up of batch thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 8, p. 2329–2335, 2009.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. v. 5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

COELHO, J. J.; PRIETO, M. L.; DOWLING, S.; HENNESSY, A.; CASEY, I.; WOODCOCK, T.; KENNEDY, N. Physical-chemical traits, phytotoxicity and

phatogen detection in liquid anaerobic digestates. **Waste Management**, v. 78, p. 8-15, 2018.

DAWSON C. J., HILTON, J. Fertiliser availability in a resource limited world: production and recycling of nitrogen and phosphorus. **Food Policy**, v. 36, p. 14-22, 2011.

DOGAN-SUBASI, E.; DEMIRER, G. N. Anaerobic Digestion of Microalgal (*Chlorella vulgaris*) Biomass as a Source of Biogas and Biofertilizer. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 35, n. 4, p. 936-941, 2016.

DU, C.; ABDULLAH, J. J.; GREETHAM, D.; FU, D.; YU, M.; REN, L.; LI, S.; LU, D. Valorisation of food waste into biofertiliser and its field application. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 273 - 284, 2018.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (orgs). **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

FIGLIOLIA, M. B.; OLIVEIRA, E. C.; PINÃ-RODRIGUES, F. C. M. ANÁLISE DE SEMENTES. IN: AGUIAR I. B.; PINÃRODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. (Coord.). **Sementes florestais tropicais**. Brasília,DF: ABRATES, 1993. p. 137-174.

IGONI, A. H.; AYOTAMUNO, M. J.; EZE, C. L.; OGAJI, S. O. T.; PROBERT, S.D. Designs of anaerobic digester for producing biogas from municipal solid-waste. **Applied Energy**, v. 85, n. 6, p. 430-438, 2008.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, L. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v. 31, p. 1737-1744, 2011.

LI, D.; LIU, S.; MI, L.; LI, Z.; YUAN, Y.; YAN, Z.; LIU, X. Effects of feedstock ration and organic loading reate on the anaerobic mesophilic co-digestion of rice straw and cow manure. **Bioresource Tehcnology**, v. 189, p. 319-326, 2015.

MAKÁDI, M.; TOMÓCSIK, A.; OROSZ, V. Digestate: A New Nutrient Source – Review. Biogas, Dr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN 978-953-51-0204-5. **InTech**, v. 14, p. 295-310, 2012.

MALINOWSKY, C. **Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.

MCLACHLAN, K.L., CHONG, C., VORONY, R.P., 2004. Assessing the potential phytotoxicity of digestates during processing of municipal solid waste by anaerobic digestion; a comparison to aerobic digestion. In: Bertschinger, L., Anderson, J.D. (Eds), Sustainability of Horticultural Systems. **Acta Horticulturae**, p. 638.

MÖLLER, K.; MÜLLER, T. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. **Engineering in Life Sciences**, v. 12, n. 3, p. 242–257, 2012.

MONLAU, F.; SAMBUSITI, C.; FICARA, E.; ABOULKAS, A.; BARAKAT, A.; CARRÈRE, H. New opportunities for agricultural digestate valorization: Current situation and perspectives. **Energy and Environmental Science**, v. 8, n. 9, p. 2600–2621, 2015.

NKOA, R. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 2, p. 473–492, 2014.

OEHL, F.; FROSSARD, E.; FLIESSBACH, A.; DUBOIS, D.; OBERSON, A. Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems. **Soil Biology & Chemistry**, v. 36, n. 4, p. 667–675, 2004.

OSTREM, K. **Greening waste: anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes**. Thesis (M.S.) - Department of Earth and Environmental Engineering, Columbia University, New York, 2004.

PANUCCIO, M. R.; ATTINÀ, E.; BASILE, C.; MALLAMACI, C.; MUSCOLO, A. Use of recalcitrant agriculture wastes to produce biogas and feasible biofertilizer. **Waste and Biomass Valorization**, v. 7, n. 2, p. 267-280, 2015.

PASTOR-BUEIS, R.; MULAS, R.; GÓMEZ, X.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F. Innovative liquid formulation of digestates for producing a biofertilizer based on *Bacillus siamensis*: Field testing on sweet pepper. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 180, p. 748-758, 2017.

ROBERTSON, G. P. E P. M. GROFFMAN. **Nitrogen transformation**. Páginas 341-364 in E.A. Paul, editor. Soil microbiology, ecology and biochemistry. 4ª edição, *Academic Press*, Burlington, Massachusetts, EUA, 2015.

SANTOS, R. H. S.; SILVA, F. DA.; CASALI, V. W.D.; CONDE, A.R. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1395 – 1398, nov 2011.

SHEETS, J. P.; YANG, L.; GE, X.; WANG, Z.; LI, Y. Beyond land application: Emerging technologies for the treatment and reuse of anaerobically digested agricultural and food waste. **Waste Management**, v. 44, p. 94-15, 2015.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2016**. Ministério das Cidades - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2016>>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. A.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal** [recurso eletrônico], [tradução: Alexandra Antunes Mastroberti ... et al.]. 6. Ed, Porto Alegre: Artmed, 2017.

TIQUIA, S.M., TAM, N.F.Y. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. **Bioresource Technology**, v.65, p.43–49, 1998.

ZIRKLER, D.; PETER, A.; KAUPENJOHANN, M.; Elemental composition of biogas residues: Variability and alteration during anaerobic digestion. **Biomass and bioenergy**, v.67, p.89-98, 2014.

ZUCCONI F, PERA A, FORTE M, DE BERTOLDI M. Evaluating toxicity of immature compost. **Biocycle**, v.22, p. 54-57,1981.