

II-096 - CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE BIOMASSA ALGAL E RESÍDUOS DE ALIMENTOS PARA PRODUÇÃO DE METANO

Alynne Soares Cabral e Silva ⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestranda em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Amanda Maria da Silva Santos ⁽²⁾

Bióloga pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Pesquisadora da categoria Desenvolvimento Tecnológico e Industrial (DTI) pela UFPE.

Sávia Gavazza dos Santos Pessôa ⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (EESC-USP). Professora associada da UFPE.

Mario Takayuki Kato ⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Doutor em Ciências Agrícolas e Ambiental pela Universidade de Wageningen – Holanda (WU). Professor titular do Departamento de Engenharia Civil da UFPE.

Maria de Lourdes Florêncio dos Santos ⁽⁵⁾

Engenheira Civil pela UFPE. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Doutora em Ciências Agrícolas e Ambiental pela WU. Professora titular do Departamento de Engenharia Civil da UFPE.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Acadêmico Hélio Ramos, s/n – Cidade Universitária - Recife - PE - CEP: 50670530 - Brasil
- Tel: (81) 21268742 - e-mail: alynnesoaresc@gmail.com

RESUMO

A digestão anaeróbia é uma alternativa para o gerenciamento de resíduos e para a obtenção de fontes limpas de energia. Sendo assim, o presente trabalho investigou o aumento da produção de metano a partir da co-digestão anaeróbia de resíduos de alimentos e biomassa algal proveniente de lagoa de alta taxa. Testes do potencial bioquímico de metano em escala de bancada foram realizados para a mono-digestão dos substratos e para a co-digestão com diferentes proporções dos substratos para verificar a melhor condição e o efeito da relação C/N no rendimento de metano. Os estudos realizados resultaram em um rendimento máximo de metano de $718,50 \pm 4,60$ mL CH₄/g SSV_{adicionado} com a proporção de mistura de 20% de biomassa algal e 80% de resíduos de alimentos e correspondeu a um aumento de 2,07 vezes em relação à mono-digestão da biomassa algal. A relação C/N mais favorável à obtenção de metano foi de 14,15. Portanto, a co-digestão de biomassa algal e resíduos de alimentos apresentou efeito sinérgico e pode fornecer rendimentos consideráveis de metano.

PALAVRAS-CHAVE: Microalgas, Resíduos urbanos, Biogás, Relação carbono/nitrogênio.

INTRODUÇÃO

A obtenção de fontes limpas de energia e a gestão de resíduos sólidos são alguns dos problemas mais desafiadores enfrentados pela humanidade. As investigações sobre a produção de biocombustíveis usando fontes alternativas foram propostas na década de 1950, recebendo maior incentivo com a crise do petróleo em 1970 (RATHA e PRASANNA, 2012).

As microalgas têm sido consideradas um substrato com potencial energético explorável visto que são ricas em carboidratos, proteínas e lipídios, os quais podem ser convertidos em metano através da digestão anaeróbia (DA) e, consequentemente, podem representar uma alternativa para obtenção de energia (AYALA-PARRA et al., 2017). Similarmente, os resíduos de alimentos também têm potencial de gerar energia por meio da DA. No Brasil, de acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2012), matéria orgânica compõe mais da metade do total dos resíduos sólidos urbanos coletados em 2008, representando uma geração de 94.335 toneladas por dia.

A gestão de resíduos de matéria orgânica e a recuperação de energia podem ser relacionadas e aprimoradas através da digestão anaeróbia. Para tal, são necessárias condições equilibradas de carbono e nitrogênio (C/N), visto que uma baixa relação C/N pode gerar acúmulo de amônia (tóxica em sua forma livre), enquanto, uma alta

relação resulta no rápido consumo do nitrogênio pelos microrganismos metanogênicos, reduzindo a produção do biogás (RODRIGUEZ et al., 2018). Diversos autores consideram uma relação C/N ótima entre 10 e 30 (YEN e BRUNE, 2007; RODRIGUEZ et al., 2018; SOLÉ-BUNDO et al., 2019a).

Em geral, os resíduos de alimentos apresentam relação C/N acima da biomassa algal e por isso são considerados boas fontes de carbono. Já a maioria das espécies de microalgas apresentam alto teor de proteínas e, consequentemente, baixa relação C/N. A combinação dos dois substratos na DA representa o processo de co-digestão, o qual é realizado com o intuito de otimizar a gestão de resíduos através do balanço de nutrientes e maximizar os rendimentos do processo biológico (RODRIGUEZ et al., 2018).

Diante do exposto, o presente estudo aborda a produção de metano a partir da co-digestão de biomassa algal e resíduos de alimentos. Em síntese, a proposta deste trabalho é analisar a influência da composição do co-substrato na produção de metano através de testes de potencial bioquímico de metano.

OBJETIVOS

Analisar a influência da co-digestão de biomassa algal e resíduos orgânicos na produtividade de metano, através da avaliação da influência da proporção entre biomassa algal e resíduos de alimentos e da verificação do efeito da relação C/N para maximizar a produção de metano.

MATERIAIS E MÉTODOS

A biomassa algal e os resíduos de alimentos foram utilizados como substratos na DA. A biomassa algal era composta predominantemente por microalgas *Micractinium* sp. e foi proveniente de uma lagoa de alta taxa em escala piloto (Figura 1) com dimensões de 6x1,4 m, apresentando volume útil de 2,4 m³ e TDH de 2 dias, utilizada para pós-tratamento de efluente de reator UASB. A biomassa coletada foi concentrada por centrifugação e lavada para remoção de materiais flutuantes e outros sólidos suspensos indesejáveis.



Figura 1- Lagoa de alta taxa - fonte da biomassa algal

Os resíduos de alimentos foram coletados em restaurante universitário e passaram por uma triagem para eliminar os materiais não orgânicos. Em seguida, foram diluídos em água deionizada (na proporção de 1 mL de água para 1 g de resíduos de alimentos) e triturados. Ambos os substratos foram refrigerados a 4 °C até a utilização nos experimentos.

Para caracterização dos substratos foram realizadas análises físico-químicas (pH, alcalinidade total e parcial, sólidos totais (ST) e sólidos suspensos voláteis (SSV), nitrogênio total e amoniacal, demanda química de oxigênio (DQO) e fósforo) baseadas em *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Além disso, após a co-digestão também foi realizada avaliação microscópica do digestato.

A concentração do carbono orgânico total (COT) foi estimada a partir da concentração de matéria orgânica (DQO), de acordo com a Equação 1 (CARMO e SILVA, 2012).

$$\text{COT (mg/L)} = 0,425 \times \text{DQO (mg/L)} - 2,064 \quad \text{Equação (1)}$$

Os testes de potencial bioquímico de metano (PBM) foram realizados em frascos de 250 mL, em triplicata, com headspace de 20% (Figura 2). A relação substrato/inóculo adotada foi de 0,5 g SSV/g SSV, com concentração inicial de substrato de 2 g SSV/L. Essa razão foi adotada para garantir elevada atividade microbiana e baixo risco de sobrecarga (ANGELIDAKI e SANDERS, 2004).



Figura 2- Reatores para teste PBM

Para determinar as melhores condições e fatores significativos na produção de metano através da co-digestão, foi analisada a variação da proporção entre os substratos. Além disso, reatores apenas com o inóculo (branco) foram preparados com o intuito de quantificar a produção de metano pela respiração endógena. As configurações dos reatores estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Configuração de operação dos reatores

Reator	Proporção dos substratos
BA-100%	100% biomassa algal:0% resíduo de alimento
BA-80%	80% biomassa algal:20% resíduo de alimento
BA-50%	50% biomassa algal:50% resíduo de alimento
BA-20%	20% biomassa algal:80% resíduo de alimento
BA-0%	0% biomassa algal:100% resíduo de alimento
RE	0% biomassa algal:0% resíduo de alimento

BA= biomassa algal, RE= respiração endógena.

O pH dos reatores foi corrigido para 7. Os frascos foram vedados e o headspace foi purgado por 4 minutos com gás nitrogênio a fim de garantir a condição anaeróbia do sistema. A incubação foi sob condição de temperatura mesofílica em sala termostatzada ($30 \pm 2^\circ\text{C}$). Os reatores foram envoltos com papel alumínio para evitar a penetração da luz e foram agitados manualmente 2 vezes ao dia.

A produção diária de metano foi medida de acordo com Aquino et al. (2007), através de gravimetria, a partir do deslocamento da solução de hidróxido de sódio (NaOH - 3% m/v) de uma garrafa de soro invertida, conectada ao reator através de mangueira cristal transparente. O volume deslocado de NaOH, corresponde ao volume de metano (CH_4) produzido. O experimento foi finalizado quando a produção de metano não era mais significativa e os resultados foram expressos em produção específica de metano ($\text{mL CH}_4/\text{g SSV}_{\text{adicionado}}$).

O lodo anaeróbio utilizado como inóculo foi proveniente de um reator UASB, operando em um condomínio residencial para tratar efluentes domésticos. A atividade metanogênica específica (AME) do inóculo foi avaliada de acordo com a metodologia descrita por Aquino et al. (2007).

Uma solução nutriente formada por solução de macronutrientes e micronutrientes foi utilizada, adaptada de Florêncio et al. (1993). No momento da montagem dos reatores, 1mL de solução de micronutrientes foi adicionado a 1L de solução de macronutrientes e o volume utilizado em cada reator correspondeu a 20% do volume útil.

O efeito sinérgico ou antagônico da co-digestão da biomassa algal com resíduos de alimentos foi avaliado através da razão entre o rendimento de metano na co-digestão e o rendimento ponderado de metano da mono-digestão dos substratos, de acordo com a Equação 2 (BOHUTSKYI et al., 2018).

$$\text{Aumento no rendimento de CH}_4 = \frac{\text{CH}_4 (\text{BA:RA})}{\text{CH}_4 (\text{BA}) \times \% \text{BA} + \text{CH}_4 (\text{RA}) \times \% \text{RA}} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde,

CH₄ (BA:RA)= produção de metano na co-digestão;

CH₄ (BA)= produção de metano na mono-digestão de biomassa algal;

CH₄ (RA)= produção de metano na mono-digestão de resíduos de alimentos;

%BA= percentual de biomassa algal na co-digestão;

%RA= percentual de resíduos de alimentos na co-digestão.

Se o aumento no rendimento de metano for acima de 1, a co-digestão tem um efeito sinérgico, se for igual a 1, não tem efeito sinérgico e se for menor do que 1, a co-digestão tem efeito antagônico.

RESULTADOS OBTIDOS

A caracterização da biomassa algal e dos resíduos de alimentos está apresentada na Tabela 2. É possível verificar que os resíduos de alimentos apresentam valor de pH abaixo de 4,0 possivelmente associado à presença de ácidos graxos voláteis derivados das etapas iniciais de degradação anaeróbia (hidrólise e acidogênese) ainda nos recipientes de armazenamento de resíduos do restaurante universitário. As quantidades de material orgânico (DQO) e nitrogênio (NTK) são cerca de 44 e 22 vezes, respectivamente, maiores nos resíduos alimentares do que na biomassa algal.

Tabela 2- Caracterização da biomassa algal e dos resíduos de alimentos

Parâmetros	Biomassa algal	Resíduos de alimentos
pH	6,7	3,7
Alcalinidade total (mg/L)	679 ± 25,17	NR ²
Alcalinidade parcial (mg/L)	349 ± 61,66	NR ²
Demanda química de oxigênio (g/L)	28 ± 1,12	1.238 ± 142,12
Nitrogênio total NTK (mg/L)	1.483 ± 128,29	33.587 ± 3.000,57
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	38 ± 9,32	NR ²
Fósforo total (mg/L)	275 ± 14,35	NR ²
Sólidos totais (g/L)	24 ± 2,37	250 ± 5,48
Sólidos suspensos voláteis (g/L)	17 ± 2,71	240 ± 5,46
Relação C/N ¹	8,03	15,68

¹ C/N= COT/NTK

² não realizada

Verifica-se que a relação C/N da biomassa algal é inferior ao valor de referência para a ocorrência de um processo de DA equilibrado. Desta forma, a mistura deste substrato com o resíduo alimentar representa uma alternativa de alcançar melhores condições bioquímicas iniciais e assim promover a produção de metano a partir dos dois substratos.

O inóculo utilizado como consórcio microbiano apresentou concentração de sólidos totais e suspensos voláteis iguais a 68 ± 1,16 g ST/L e 39 ± 1,68 g SSV/L, respectivamente. A AME do lodo foi de 0,18 g DQO-CH₄/g SSV. d.

A produção de metano para diferentes combinações de biomassa algal e resíduos de alimentos e para a mono-digestão dos substratos durante os 30 dias do teste de PBM consta na Figura 3. A inexistência de fase *lag*, ou de adaptação, nesses experimentos é um indicativo de boa biodegradabilidade.

Os reatores apenas com biomassa algal (BA-100%) apresentaram o menor rendimento máximo de metano ($347 \pm 60,46$ mL CH₄/g SSV_{adicionado}). Esse resultado foi maior que os observados por Wang e Park (2015) com *Micractinium* sp. (209 mL CH₄/g SSV_{adicionado}). No entanto, deve-se levar em consideração que a biodegradabilidade das microalgas e, consequentemente, o rendimento de biogás variam de acordo com as condições de crescimento e com as diferentes espécies de microalgas (WANG e PARK, 2015; MUSSGUNG et al., 2010).

O maior desempenho da produção de metano na co-digestão anaeróbia ($718,50 \pm 4,60$ mL CH₄/g SSV_{adicionado}) foi obtido com a razão de 20% de biomassa algal e 80% de resíduos de alimentos (BA-20%) e correspondeu a um aumento de 2,07 vezes em relação à mono-digestão da biomassa algal. A produção de metano diminuiu para $670,75 \pm 7,78$ mL CH₄/g SSV_{adicionado} na mono-digestão dos resíduos alimentares. O efeito positivo da co-digestão de consórcio de microalgas (*Chlorella* sp. e *Scenedesmus* sp.) e resíduos alimentares também foi observado por Zhen et al. (2016) que obteve um rendimento de metano de $639,8 \pm 1,3$ mL CH₄/g SSV_{adicionado} para a razão de 0,2:0,8 (microalgas:resíduo alimentar).

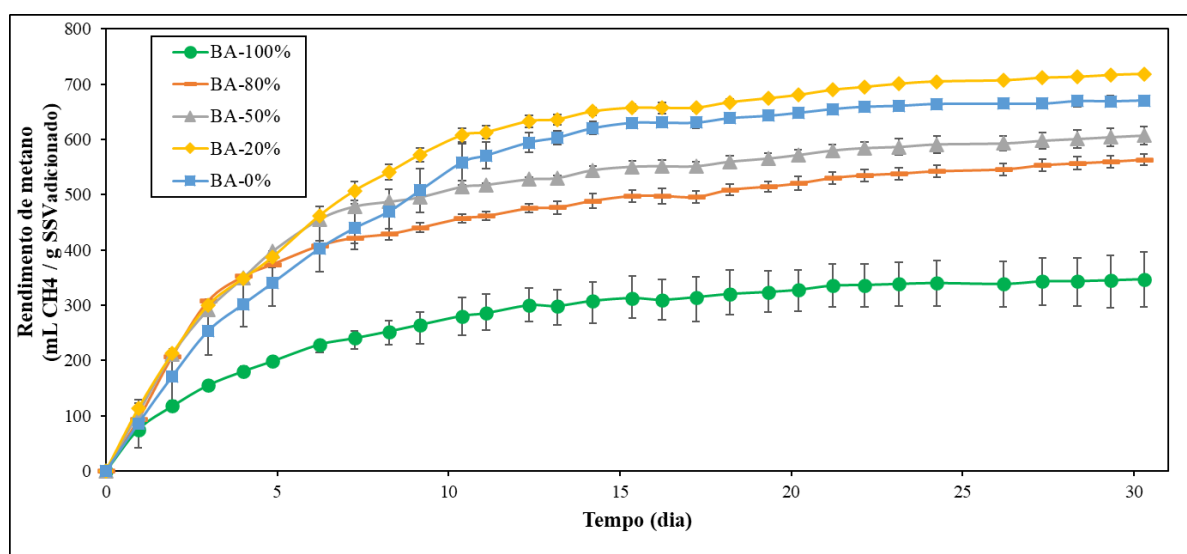


Figura 3- Produção de metano em testes de PBM para co-digestão de biomassa algal (BA) e resíduos de alimentos sob diferentes proporções dos substratos.

A Tabela 3 apresenta a relação C/N dos reatores e a produção de metano auferida nos testes PBM. Em geral, os reatores com co-substrato apresentaram maior produção de metano e atenderam a recomendação mínima da proporção de fonte de carbono e nitrogênio (relação C/N entre 10 e 30).

A produção específica de metano oriunda dos reatores BA-100% e BA-0% serviu de indicação e comparação do sinergismo metabólico com os reatores com co-substrato. O efeito da co-digestão pode ser observado na Tabela 3. Efeito sinérgico foi encontrado para as três condições de co-digestão analisadas nesse estudo, isto é, a sinergia entre os substratos resultou na melhoria do rendimento acumulado de metano.

Os valores de pH, apresentados na Tabela 3, indicaram que os sistemas permaneceram estáveis, uma vez que os valores se mantiveram dentro do intervalo de 6,7 a 7,5, ideal para microrganismos anaeróbios mesofílicos (WELLINGER et al., 2013). Entretanto, uma vez que a hidrólise do material orgânico alimentar se processa mais rapidamente do que a matéria orgânica de origem algal, devido à complexidade da parede celular das microalgas, o valor do pH apresentou diminuição com a adição de resíduos de alimentos nos reatores.

Tabela 3- Relação C/N dos reatores e resultados após a DA de diferentes combinações de biomassa algal e resíduos de alimentos

Reator	Relação C/N	pH final ¹	Produção acumulada de metano	Efeito
BA-100%	8,03	7,04 ± 0,06	347,00 ± 60,46 mL CH ₄ /g SSV _{adicionado}	-
BA-80%	9,56	6,94 ± 0,01	563,25 ± 10,25 mL CH ₄ /g SSV _{adicionado}	Sinérgico
BA-50%	11,86	6,91 ± 0,03	607,38 ± 16,79 mL CH ₄ /g SSV _{adicionado}	Sinérgico
BA-20%	14,15	6,96 ± 0,04	718,50 ± 4,60 mL CH ₄ /g SSV _{adicionado}	Sinérgico
BA-0%	15,68	6,95 ± 0,05	670,75 ± 7,78 mL CH ₄ /g SSV _{adicionado}	-

¹ após os 30 dias de DA.

O conteúdo inicial e final de sólidos totais e sólidos voláteis dos reatores foi medido e o resultado está na Figura 4. As maiores quantidades de ST no final da DA foram encontradas nos reatores com maiores percentuais de biomassa algal (BA-100%, BA-80% e BA-50%), indicando baixa biodegradabilidade. Esses resultados podem ser atribuídos à baixa solubilização das microalgas devido à composição complexa da parede celular, principalmente, por celulose, hemicelulose, pectina e glicoproteínas (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ et al., 2012).

Todos os reatores partiram da concentração de sólidos totais em torno de 2%. Nos reatores com os dois tipos de substratos, houve maior degradação dos sólidos com o aumento da proporção de resíduos de alimentos. As maiores eficiências de remoção de SV, 57% e 76%, foram observadas nos reatores que obtiveram maiores produção de metano, BA-20% e BA-0%, respectivamente. Em geral, quanto maior o percentual de alimentos na co-digestão, melhor a remoção de matéria orgânica e maior a produção de biogás.

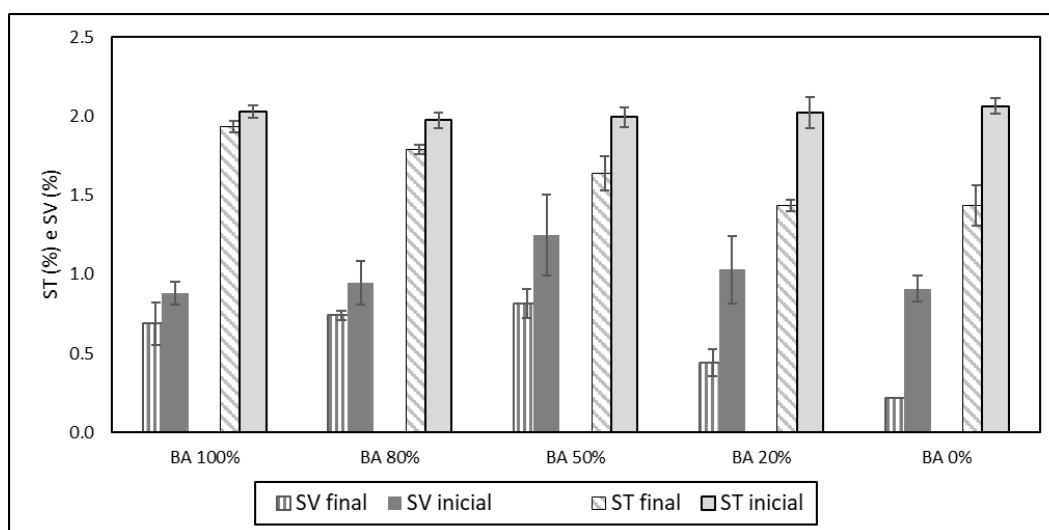


Figura 4- Variação dos ST e SV após 30 dias de DA sob diferentes proporções de biomassa algal e resíduos de alimentos.

Nos reatores que continham biomassa algal como substrato, pode ser observada a presença de microalgas *Micractinium* sp. após 30 dias de DA, indicando uma digestão incompleta (Figura 5). Entretanto, há sinais morfológicos da ação de enzimas hidrolíticas na parede celular das microalgas presentes no digestato.

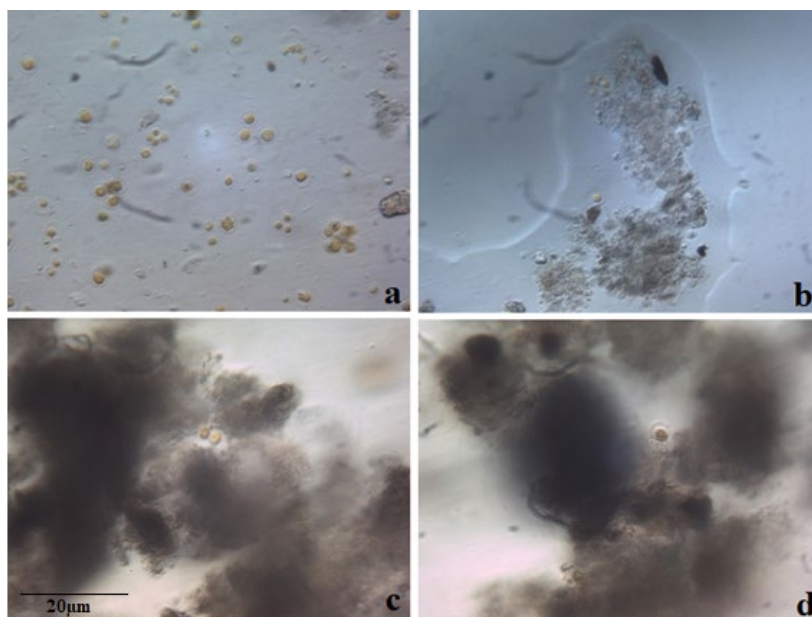


Figura 5- Presença de microalgas após os 30 dias de co-digestão anaeróbia com resíduos de alimentos (a: BA-100%, b: BA-80%, c: BA-50%, d: BA-20%)

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Resultados positivos da digestão de microalgas com outros substratos em condições mesofílicas foram obtidos com celulose (BOHUTSKYI et al., 2018), esterco de galinha (LI et al., 2017), esterco bovino (MAHDY et al., 2017), palha de trigo (SOLÉ-BUNDÓ et al., 2017) e lodo primário (SOLÉ-BUNDÓ et al., 2019b). O rendimento de metano obtido para esses substratos foi entre 238 e 431 mL CH₄/g SV_{adicionado}.

A co-digestão de biomassa algal com resíduos de alimentos realizada neste experimento apresentou resultado significativamente superior aos identificados na literatura com outros substratos, demonstrando que os resíduos de alimentos são capazes de maximizar a produção de metano a partir da biomassa algal. Segundo Jang et al. (2015), esse fato pode ser atribuído à alta biodegradabilidade dos resíduos alimentares, ao aumento da comunidade microbiana e de enzimas hidrolíticas responsáveis pela solubilização das paredes celulares das microalgas.

CONCLUSÕES

Neste estudo foi possível demonstrar que a co-digestão de biomassa algal e resíduos de alimentos em condições mesofílicas melhorou o rendimento de metano em comparação com a digestão individual dos substratos. Quanto maior o conteúdo de biomassa algal nos reatores, menor a produção de metano e menor a degradação de matéria orgânica.

O rendimento máximo de metano ($718,50 \pm 4,60$ mL CH₄/g SSV_{adicionado}) foi alcançado com a proporção de mistura de 20% de biomassa algal e 80% de resíduos de alimentos e correspondeu à um aumento de 2,07 vezes em relação à mono-digestão da biomassa algal. Portanto, a relação C/N mais favorável à obtenção de metano foi de 14,15. Desta maneira, a co-digestão de biomassa algal cultivada em lagoa de alta taxa e resíduos de alimentos pode ser considerada uma estratégia eficiente para aliar a gestão de resíduos urbanos à produção de metano em processos anaeróbios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANGELIDAKI, I., SANDERS, W. *Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. Reviews in environmental science e bio/technology*. v. 3, n. 2, p. 117-129, June 2004.

2. APHA, AWWA, WPCF. *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22th ed., American Public Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, Washington, DC, USA, 2012.
3. AQUINO, S. F., CHERNICHARO, C. A. L., FORESTI, E., SANTOS, M. L. F., MONTEGGIA, L. O. Metodologias para determinação da atividade metanogênica Específica (AME) em Lodos Anaeróbios. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.12, n.2, p.192-201, June 2007.
4. AYALA-PARRA, P., LIU, Y., FIELD, J. A., SIERRA-ALVAREZ, R. *Nutrient recovery and biogas generation from the anaerobic digestion of waste biomass from algal biofuel production*. *Renewable Energy*, v. 108, p. 410-416, Aug. 2017.
5. BOHUTSKYI, P., PHAN, D., KOPACHEVSKY, A. M., CHOW, S., BOUWER, E. J., BETENBAUGH, M. J. *Synergistic co-digestion of wastewater grown algae-bacteria polyculture biomass and cellulose to optimize carbon-to-nitrogen ratio and application of kinetic models to predict anaerobic digestion energy balance*. *Bioresource Technology*, v. 269, p. 210-220, Dec. 2018.
6. BRASIL Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos, p. 10, Brasília, ago. 2012.
7. CARMO, D. L. DO, SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, p. 1211-1220, maio 2012.
8. FLORENCIO, L., JENIČEK, P., FIELD, J. A., LETTINGA, G. *Effect of cobalt on the anaerobic degradation of methanol*. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, v. 75, n. 5, p. 368-374, 1993.
9. GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, C., SIALVE, B., BERNET, N., STEYER, J. P. *Impact of microalgae characteristics on their conversion to biofuel. Part II: Focus on biomethane production*. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 6, n. 2, p. 205-218, Apr. 2012.
10. JANG, H. M., KIM, M., HÁ, J. H., PARK, J. M. *Reactor performance and methanogenic archaea species in thermophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge mixed with food wastewater*. *Chemical Engineering Journal*, v. 276, p. 20-28, Sept. 2015.
11. LI, R., DUAN, N., ZHANG, Y., LIU, Z., LI, B., ZHANG, D., LU, H., DONG, T. *Co-digestion of chicken manure and microalgae Chlorella 1067 grown in the recycled digestate: Nutrients reuse and biogas enhancement*. *Waste Management*, v. 70, p. 247-254, 2017.
12. MAHDY, A., FOTIDIS, I. A., MANCINI, E., BALLESTEROS, M., GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, C., ANGELIDAKI, I. *Ammonia tolerant inocula provide a good base for anaerobic digestion of microalgae in third generation biogas process*. *Bioresource Technology*, v.225, p. 272-278, Dec. 2017.
13. MUSSGUG, J. H., KLASSEN, V., SCHLÜTER, A., KRUSE, O. *Microalgae as substrates for fermentative biogas production in a combined biorefinery concept*. *Journal of Biotechnology*. v. 150, n. 1, p. 51-56, Oct. 2010.
14. RATHA, S.K., PRASANNA, R. *Bioprospecting Microalgae as Potential Sources of Green Energy: challenges and perspectives (Review)*. *Applied Biochemistry and Microbiology*. v. 48, n. 2, p. 109–125, Mar. 2012.
15. RODRIGUEZ, C., ALASWAD, A., EL-HASSAN, Z., OLABI, A. G. *Waste paper and macroalgae co-digestion effect on methane production*. *Energy*, v. 154, p. 119-125, July 2018.
16. SOLÉ-BUNDÓ, M., ESKICIOGLU, C., GARFÍ, M., CARRÈRE, H., FERRER, I. *Anaerobic co-digestion of microalgal biomass and wheat straw with and without thermo-alkaline pretreatment*. *Bioresource Technology*, v. 237, p. 89-98, Aug. 2017.
17. SOLÉ-BUNDÓ, M., GARFÍ, M., MATAMOROS, V., FERRER, I. *Co-digestion of microalgae and primary sludge: Effect on biogas production and microcontaminants removal*. *Science of the Total Environment*, v. 660, p. 974-981, Apr. 2019b.
18. SOLÉ-BUNDÓ, M., PASSOS, F., ROMERO-GÜIZA, M. S., FERRER, I., ASTALS, S. *Co-digestion strategies to enhance microalgae anaerobic digestion: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 112, p. 471-482, Sept. 2019a.
19. WANG, M., PARK, C. *Investigation of anaerobic digestion of Chlorella sp. and Micractinium sp. grown in high-nitrogen wastewater and their co-digestion with waste activated sludge*. *Biomass and Bioenergy*, v. 80, p. 30-37, Sept. 2015.
20. WELLINGER, A., MURPHY, J., BAXTER, D. (Ed.) *The biogas handbook: science, production and applications*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013. 476 p.
21. YEN, H. W., BRUNE, D. E. *Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane*. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 130-134, Jan. 2007.
22. ZHEN, G., LU, X., KOBAYASHI, T., KUMAR, G., XU, K. *Anaerobic co-digestion on improving methane production from mixed microalgae (Scenedesmus sp., Chlorella sp.) and food waste: Kinetic modeling and synergistic impact evaluation*. *Chemical Engineering Journal*, v. 299, p. 332-341, Sept. 2016.