

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO ALIMENTO/MICROORGANISMO E CODIGESTÃO DE PALHA DE MILHO E RESÍDUO ALIMENTAR NA PRODUÇÃO DE METANO

Tiago Borges Ferreira<sup>1</sup>  
Timóteo Gomes Parise<sup>1</sup>  
Carla Vieira Serufo<sup>1</sup>  
\* Cláudio Leite de Souza<sup>1</sup>

## INFLUENCE OF THE FOOD/MICROORGANISM RATIO AND CODIGESTION OF CORN STRAW AND FOOD WASTE ON METHANE PRODUCTION

Recibido el 20 de octubre de 2020; Aceptado el 12 de abril de 2021

### Abstract

*The population growth and changes in the lifestyle witnessed in the recent past have become the organic waste generation and energy demand very current issues. Anaerobic digestion can provide the organic waste treatment and enable the energy recovery of the methane. Thereby, this work evaluated different operational conditions to improve this process stability and productivity. Three food/microorganism ratio (F/M) were evaluated: 0.2; 0.35 and 0.5 gVS<sup>-1</sup>, in addition to three different ratios of food waste and corn straw (FW:CS): 1:1, 3:1 and 5:1. The rotation shaking and operating temperature were 125 rpm and 35 °C, respectively, using methane production as the main evaluative parameter. As result, isolated and associated influences of these two variables were verified, with higher yields, 408 and 337 mL CH<sub>4</sub> gVS<sup>-1</sup>, at 30 days of the test, for the F/M ratio 0.2 and FW:CS 3:1 and 1:1, respectively. Permanent inhibition was found for the F/M 0.5 with FW:CS 3:1 and 5:1. Therefore, it can affirm that the F/M ratio and substrate proportion were important factors for the process stability and increase of productivity in less operation time.*

**Keywords:** anaerobic digestion, bioenergy, biological treatment, biomethanation.

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Brasil.

\*Autor correspondente: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. 31270-901. Brasil. Email: [claudio@desa.ufmg.br](mailto:claudio@desa.ufmg.br)

## Resumo

O crescimento populacional e alteração da forma de vida presenciada em passado recente têm tornado a geração de resíduos orgânicos e demanda energética questões bastante atuais. A digestão anaeróbia pode proporcionar o tratamento destes resíduos e possibilitar o aproveitamento energético do metano gerado. Assim, o presente trabalho avaliou diferentes condições operacionais visando melhor estabilidade e produtividade do processo. Foram avaliadas três relações alimento/microrganismo (A/M): 0.20; 0.35 e 0.50 gSV gSV<sup>-1</sup>, além de três diferentes proporções de resíduo alimentar e palha de milho (RA:PM): 1:1, 3:1 e 5:1. A agitação e temperatura das bateladas foram 125 rpm e 35 °C, respectivamente, utilizando a produção de metano como o principal parâmetro avaliativo. Como resultados, foram verificadas influências isolada e associada dos fatores avaliados, com maiores rendimentos, 408 e 337 mL CH<sub>4</sub> gSV<sup>-1</sup>, aos 30 dias de teste, para a relação A/M 0.20 e proporções RA:PM 3:1 e 1:1, respectivamente. Verificou-se inibição persistente da biodegradação para a relação 0.50 com proporções RA:PM 3:1 e 5:1. Assim, pode-se afirmar que a relação A/M e proporção de substratos em codigestão foram fatores decisivos para a estabilidade do processo e incremento da produtividade em menor tempo de operação.

**Palavras chave:** bioenergia, biometanização, digestão anaeróbia, tratamento biológico.

## Introdução

O tratamento e destinação de resíduos são algumas das atuais questões da humanidade, principalmente pelo elevado volume gerado. Segundo Waste Atlas (2013), a produção *per capita* média mundial de resíduos sólidos urbanos é 271.7 kg habitante<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo 43.3% composto por resíduos orgânicos.

Por suas características físico-químicas, o inadequado tratamento e destinação dos resíduos orgânicos pode possibilitar a emissão de gases de efeito estufa, além de causar a ocupação inadequada de aterros sanitários, sendo que em diversos países essa destinação final já está proibida. Tratamentos biológicos são altamente recomendados para tais resíduos, com destaque para digestão anaeróbia, principalmente por possibilitar o aproveitamento energético do metano gerado.

O resíduo alimentar, importante fração dos resíduos orgânicos, trata-se de composto de rápida degradação por possuir fácil hidrólise e acidificação, o que torna a sua digestão anaeróbia potencialmente instável. Para proporcionar maior estabilidade, robustez e produtividade a esse processo, tem-se aplicado algumas estratégias como digestão em duplo estágio (Gottardo *et al.*, 2017) e codigestão com resíduos lignocelulósicos (Cabbai *et al.*, 2016). Para esta última, tem sido utilizados alguns resíduos lignocelulósicos agropecuários, como é o caso de palha de arroz (Zhan-Jiang *et al.*, 2014) e palha de milho, sorgo e trigo (Rahman *et al.*, 2017), com produções de metano superiores às obtidas para a biodigestão exclusiva do resíduo alimentar.

Um dos principais motivos para tais resultados é o fato da relação carbono/nitrogênio (C/N) verificada em resíduo alimentar entre 13 a 20 (Li *et al.*, 2016; Rajagopal *et al.*, 2017; Zhan-Jiang *et al.*, 2014), serem inferiores ao intervalo de 20 a 30 reportado como ideal para a digestão anaeróbia (Siddique e Wahid, 2018). Sabendo que os resíduos lignocelulósicos possuem elevada concentração de C de lenta degradação, por fazer parte de estruturas complexas como celulose, hemicelulose e lignina, a junção destas categorias de resíduos, além de proporcionar melhor balanço C/N, ainda reduz o potencial acúmulo de ácidos, prejudicial aos microrganismos responsáveis pela produção de metano.

A inibição da metanogênese pelo produto de uma das fases que a antecede, acidogênese, está diretamente relacionada à velocidade de degradação dos compostos, pelo fato de haver diferença no tempo de duplicação dos principais gêneros microbianos presentes em cada uma dessas fases. Caso ocorra a elevada taxa de produção de ácidos, com conseqüente acúmulo e redução do pH, haverá a inviabilização da atividade das arqueias metanogênicas, responsáveis pela fase final do processo (Nagao *et al.*, 2012).

Para que se evite essa potencial inibição da metanogênese, por excesso de ácidos intermediários, a relação alimento/microrganismo (A/M) é um fator determinante. Esse parâmetro representa a disponibilidade de substrato aos microrganismos, sendo necessário determinar valores ótimos específicos para cada substrato utilizado. Rafieenia *et al.* (2017) empregaram relação A/M de 0.3 gSV gSV<sup>-1</sup>, utilizando resíduo alimentar como substrato. Relações semelhantes são aplicadas para codigestão, como 0.35 gSV gSV<sup>-1</sup> reportado por Yong *et al.* (2015). Porém, valores mais elevados podem ser aplicados, como relações de até 1.0 gSV gSV<sup>-1</sup>, sugerido por Holliger *et al.* (2016), para testes de potencial biometanogênico com substratos lignocelulósicos.

Sabendo que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de milho e da possível aplicação da palha deste grão juntamente com resíduo alimentar na digestão anaeróbia, esse trabalho avaliou a codigestão destes dois resíduos com o objetivo de verificar a influência da proporção de cada substrato e da relação A/M na produção de metano, determinando combinações mais adequadas para ambas relações.

## Metodologia

O inóculo empregado nos testes foi obtido a partir de lodo oriundo de reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB – *upflow anaerobic sludge blanket*) tratando esgoto tipicamente doméstico à temperatura ambiente.

Como substratos foram utilizados resíduos alimentares oriundo dos restaurantes universitários da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), processado em triturador industrial (Tritury,

ACX500) sob via úmida, além de palha de milho, com recorte manual do seu tamanho (pedaços entre 0.5 e 1.5 cm). As características físicas do inóculo e dos substratos estão descritas na Tabela 1.

Os testes foram realizados em triplicata, com frascos de vidro âmbar de volume total 250 mL, contendo 100 mL de inóculo, mantidos em câmara incubadora (Marconi M420), com temperatura controlada (35 °C) e agitação rotacional (125 rpm).

**Tabela 1.** Características físicas do inóculo e substratos utilizados no experimento

Composto	Sólidos	Sólidos Totais	STV ST <sup>-1</sup> (%)
Palha de milho (g g <sup>-1</sup> )	0.919	0.84	91.35
Resíduo alimentar (g L <sup>-1</sup> )	32.57	28.62	87.88
Inóculo (g L <sup>-1</sup> )	40.41	24.75	61.25

Foram avaliadas três relações A/M, 0.20; 0.35 e 0.50 gSV gSV<sup>-1</sup>, as quais foram submetidas a três diferentes proporções de resíduo alimentar e palha de milho (RA:PM) 1:1, 3:1 e 5:1.

Para a consideração do efeito da produção de metano intrínseca do inóculo, além da comparação com um substrato padrão, foram realizados testes Branco e Controle, respectivamente. Para o teste Branco, foram adicionados somente o inóculo e água destilada. Por outro lado, para o teste Controle, realizado durante o teste exploratório, foram substituídos os substratos (resíduos alimentares e palha de milho) pelo equivalente em sólidos voláteis (SV) de celulose microcristalina, a qual é reportada na literatura com produção teórica de 414 NL CH<sub>4</sub> kgSV<sup>-1</sup> (Holliger *et al.*, 2016).

A determinação de pH foi realizada em equipamento multiparâmetro (Hanna pH21). As análises de sólidos foram realizadas por método 2540 descrito no *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2012). Alcalinidade e ácidos totais foram determinados por titulometria, segundo descrito por Ripley *et al.* (1986).

A medição volumétrica do biogás produzido foi feita, em média em intervalos de três dias, em seringa de vidro esmerilhado (Arti Glass) e a determinação do percentual de metano realizada em cromatógrafo gasoso Perkin Elmer, detector TCD, fluxo de 17 mL min<sup>-1</sup>, hélio como gás de arraste e coluna empacotada *carbowax*. Para a determinação do rendimento líquido de metano, foram subtraídas as produções do teste Branco, referente à produção intrínseca do inóculo.

Para o tratamento estatístico dos dados foi realizado *softwares* Microsoft Excel® e Statistic 8®. Para determinação da influência isolada e associada de ambos os parâmetros avaliados, foi aplicado o teste de variância (ANOVA fatorial), com nível de confiança de 95% ( $\alpha$ : 0.05).

### Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta os resultados produzidos no teste inicial exploratório (A/M-0.45 e AM:PM-5:1, com duração de 41 dias) para avaliação do efeito da codigestão. Dentre os substratos avaliados: resíduo alimentar (RA), palha de milho (PM) e codigestão (RA:PM), a maior produção de metano foi obtida neste último, apesar da maior eficiência de conversão de SV ter ocorrido para a palha de milho como substrato isolado. Estes dois substratos demonstraram produções de metano superiores aos 392 NL kgSV<sup>-1</sup> verificados por Yong *et al.* (2015) na codigestão de resíduo alimentar e palha.

**Tabela 2.** Síntese dos resultados do teste inicial de codigestão entre resíduo alimentar e palha de milho

Categoria avaliada	pH inicial	pH final	Eficiência de conversão SV (%)	Prod. metano (NL.kgSV <sup>-1</sup> <sub>adic.</sub> )
Branco	7.1	7.2	14.6	206
Controle	6.91	6.41	46.4	635.8
Res. Alimentar	6.75	6.36	0.3	364.3
Palha	6.71	6.6	23.2	446.2
Res. Alimentar + Palha	6.79	6.32	14.6	498.6

Portanto, esses primeiros resultados exploratórios permitem corroborar o entendimento de que a codigestão de resíduo alimentar e material lignocelulósico possibilita maior estabilidade e maiores produções de metano quando comparado aos mesmos substratos biodigeridos isoladamente. Esse fato é atribuído principalmente a melhoria da relação C/N (Yong *et al.*, 2015). Contudo, aparentemente, nesse primeiro teste, a relação alimento microrganismo e também a proporção entre RA:PM não permitiu rendimento maximizado.

O resíduo alimentar isoladamente foi o substrato com menor conversão de SV, assim como o menos produtivo. Por sua vez, Zhan-Jiang *et al.* (2014) reportaram colapso dos testes usando unicamente resíduo alimentar, após 6 dias de operação. Nagao *et al.* (2012) atribuem esse comportamento ao fato da metanogênese ocorrer em taxa inferior à acidogênese para substratos de acidificação rápida, como é o caso do resíduo alimentar, levando ao acúmulo de ácidos intermediários e conseqüente redução do rendimento ou inibição permanente, colapso.

Com base no possível acúmulo de compostos intermediários para o resíduo alimentar, no elevado potencial produtivo da palha de milho (22% superior ao resíduo alimentar), além do extenso tempo necessário para que a codigestão se destacasse como a mais produtiva (30 dias), avançou-se na perspectiva de se avaliar a influência da relação alimento/microrganismos (A/M) e a proporção resíduo alimentar e palha (RA:PM), para a maximização da produção de metano em menor tempo experimental.

As diferentes relações A/M e proporções de RA:PM resultaram em diferentes comportamentos, como se pode verificar na Tabela 3, em termos de pH, conversão de SV, relação de alcalinidades (AI/AP), alcalinidade bicarbonato e ácidos totais.

Como é sabido, o sucesso do processo de digestão anaeróbia está vinculado à estabilidade deste, sendo que parâmetros como relação de alcalinidades intermediária e parcial (AI/AP), alcalinidade e ácidos totais auxiliam no monitoramento do processo. Apesar dos valores terem sido mensurados somente ao final da batelada, pode-se notar que houve valores de AI/AP elevados para as maiores relações A/M e RA:PM (0.35 e 5:1; 0.50 e 3:1; 0.50 e 5:1), sendo a produção excessiva de ácidos o possível motivo, corroborado pelos valores de ácidos totais e pH mensurados (Tabela 3). Apesar da relação 0.35 e 5:1 apresentar valor de AI/AP marginalmente superior ao 0.3 sugerido como referência por Ripley *et al.* (1986), seu rendimento líquido de metano foi adequado ao final do teste (Figura 1), se comparada às outras duas, indicando para a adaptação da biomassa.

**Tabela 3.** Parâmetros gerais do teste com diferentes relações alimento/microrganismo (A/M) e proporções resíduo alimentar (RA) e palha de milho (PM)

Relação A/M	Proporção RA:PM	pH final	Conversão SV % (DP <sup>1</sup> )	Relação AI/AP <sup>2</sup>	Alcal. bicarb. (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	Ácidos totais (mg Hac/L)
Branco	Branco	7.05	67.1 (0.5)	0.35	2700	1378
0.2	1:1	7.14	70.4 (2.2)	0.32	2775	1323
0.2	3:1	7.23	65.5 (0.0)	0.33	3000	1433
0.2	5:1	7.1	63.3 (1.1)	0.27	3037	1212
0.35	1:1	7.09	63.4 (2.9)	0.3	3300	1433
0.35	3:1	7.19	64.1 (3.8)	0.29	3225	1378
0.35	5:1	7.12	62.1 (4.5)	0.46	2962	1985
0.5	1:1	7.19	64.9 (1.4)	0.35	2700	1378
0.5	3:1	6.75	66.6 (1.5)	1.82	1275	3420
0.5	5:1	6.13	76.9 (1.8)	4.69	600	4138

<sup>1</sup>Desvio padrão; <sup>2</sup>Alcalinidade intermediária/Alcalinidade parcial



Assim, a Figura 1 mostra a evolução dos valores médios de rendimento líquido de metano (descontado o branco) para todas as condições testadas. Pode-se notar o desenvolvimento inicial (até dia 20) superior das condições com menores relações A/M e RA:PM (0.20 e 1:1; 0.20 e 3:1; 0.35 e 1:1). Naturalmente, esse efeito reflete a melhor adequação quantitativa entre material orgânico de mais rápida digestão/acidificação e biomassa/lodo para desenvolver todo o processo, incluindo a metanogênese.

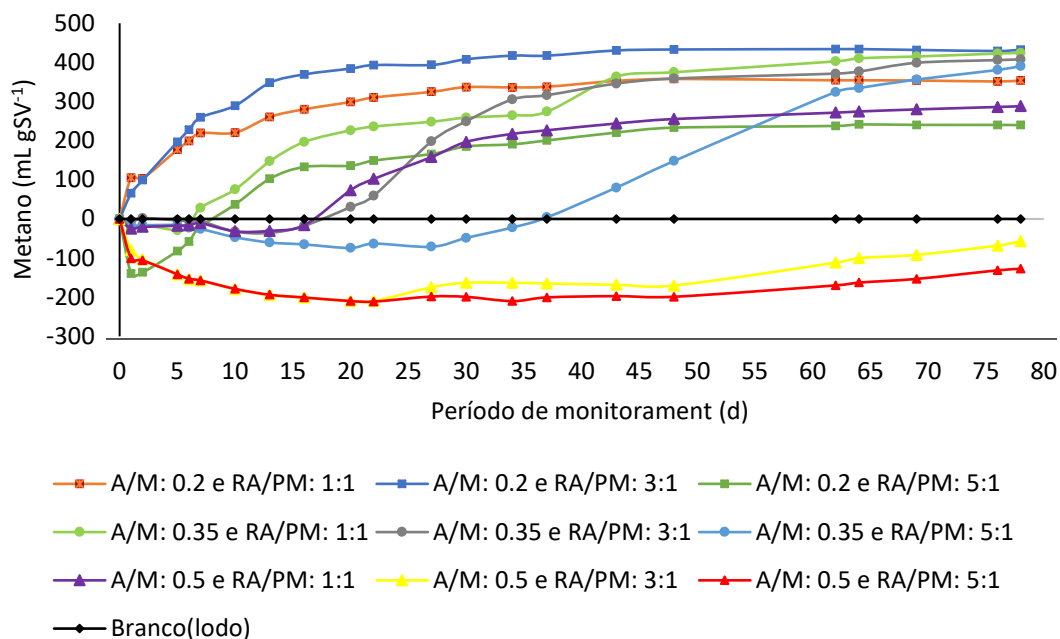
A seu turno, nas condições com relações A/M e RA:PM intermediárias (0.20 e 5:1; 0.35 e 3:1; 0.50 e 1:1) houve dificuldades iniciais de desenvolvimento, mas com certa recuperação a partir do dia 20. Esse comportamento ocorreu, possivelmente, pela adaptação dos microrganismos à condição inicial mais ácida, proporcionada pela maior disponibilidade de alimento rapidamente biodegradável.

Diferentemente, no caso das condições com as maiores relações A/M e RA:PM (0.50 e 3:1; 0.50 e 5:1) não houve recuperação, havendo ocorrido a inibição permanente, justificável pelas elevadíssimas quantidades relativas de alimento rapidamente acidificável, provenientes do resíduo alimentar. Esses resultados foram plenamente corroborados pela discussão anterior relacionada com elevados ácidos totais e relação AI/AP e também baixo pH, mesmo ao final do teste.

Um destaque particular, em termos de evolução da produtividade metanogênica, é percebido para a condição 0.35 e 5:1, pois entende-se como uma possível condição limítrofe dentro da duração total do teste, cerca de 80 dias. Claramente, até os 40 dias, o rendimento foi predominantemente negativo (produção menor que a do branco), mas a partir desse momento a evolução se mostrou bastante intensa. De forma que, ao final do teste, a recuperação foi praticamente plena. O que também foi corroborado pela discussão anterior a respeito dos resultados associados de alcalinidade, ácidos e pH (Tabela 3).

As concentrações médias de metano no biogás ao longo do período monitorado, assim como o rendimento líquido (subtraído o branco) em função da matéria orgânica adicionada inicialmente se encontram reunidas na Tabela 4.

Com base no teste estatístico, verificou-se efeito significativo de ambos os parâmetros avaliados, isoladamente e associados, tanto para os resultados verificados ao final do teste (79d), como para os parciais (30d). Os rendimentos mais elevados, considerando os valores totais líquidos ao final do experimento (Tabela 4), foram 432, 425 e 408 mL CH<sub>4</sub> gSV<sup>-1</sup><sub>adicionada</sub> verificados para a relação A/M 0.2 e proporção RA:PM 3:1, A/M 0.35 e proporções RA:PM 1:1 e 3:1, respectivamente.



**Figura 1.** Rendimento líquido de metano em função das condições avaliadas

**Tabela 4.** Concentração média e rendimentos de metano verificados ao final do ensaio

Relação A/M	Proporção RA:PM	% CH <sub>4</sub> (D.P*)	Rendimento líquido (30d) mL CH <sub>4</sub> g <sup>-1</sup> SV <sub>adic.</sub> (D.P*)	Rendimento líquido (79d) mL CH <sub>4</sub> g <sup>-1</sup> SV <sub>adic.</sub> (D.P*)
Branco	Branco	63.8 (9.0)	0 (0)	0 (0)
0.2	1:1	65.3 (9.8)	337 (9)	354 (3)
0.2	3:1	65.9 (9.1)	408 (20)	432 (41)
0.2	5:1	67.2 (10.1)	185 (41)	240 (44)
0.35	1:1	66.0 (7.4)	259 (32)	425 (22)
0.35	3:1	62.8 (12.1)	250 (44)	408 (8)
0.35	5:1	57.7 (12.3)	-49 (21)	391 (11)
0.5	1:1	58.9 (13.1)	197 (41)	272 (56)
0.5	3:1	40.2 (14.8)	-163 (17)	-85 (42)
0.5	5:1	35.6 (16.8)	-199 (21)	-167 (58)

\*Desvio Padrão

As concentrações médias de metano no biogás ao longo do período monitorado, assim como o rendimento líquido (subtraído o branco) em função da matéria orgânica adicionada inicialmente se encontram reunidas na Tabela 4.



Com base no teste estatístico, verificou-se efeito significativo de ambos os parâmetros avaliados, isoladamente e associados, tanto para os resultados verificados ao final do teste (79d), como para os parciais (30d). Os rendimentos mais elevados, considerando os valores totais líquidos ao final do experimento (Tabela 4), foram 432, 425 e 408 mL CH<sub>4</sub> gSV<sup>-1</sup><sub>adicionada</sub> verificados para a relação A/M 0.2 e proporção RA:PM 3:1, A/M 0.35 e proporções RA:PM 1:1 e 3:1, respectivamente.

Diferentemente dos resultados verificados ao final do teste, os rendimentos médios verificados aos 30 dias de teste (Tabela 4) demonstram maiores valores para as condições A/M 0.2 e RA/PM 3:1 e 1:1, seguidos das categorias A/M 0.35 e RA/PM 3:1 e 1:1.

Holliger *et al.* (2016) sugere valores relações A/M entre 0.25 e 0.5 gSV gSV<sup>-1</sup> para substratos de rápida acidificação, porém, valores de até 1.0 gSV gSV<sup>-1</sup> para compostos lignocelulósicos. Esses autores destacam ainda a importância de realização de teste para determinação da relação ótima em caso de substratos de características desconhecidas, pois elevadas relações podem causar a inibição por ácidos orgânicos de cadeia curta, ácidos intermediários.

Zhan-Jiang *et al.* (2014) também verificaram maiores produções de metano para codigestão com relação 3:1, quando aplicada a resíduo alimentar e palha de arroz. Diferentemente, Yong *et al.* (2015) verificaram máximo rendimento para proporção de 5:1 de resíduo alimentar e palha, quando mantida relação A/M de 0.35 gSV gSV<sup>-1</sup>.

Em respeito a relação A/M, possivelmente, o fato de haver menor quantidade de alimento disponibilizado viabiliza o desenvolvimento do processo sem que haja inibição por excesso de produtos da fase acidogênica. As proporções RA:PM menores também proporcionam o mesmo comportamento, pois maiores proporções de resíduo alimentar, composto de rápida acidificação, resultam em acúmulo destes produtos intermediários, o que afeta negativamente a atividade dos microrganismos metanogênicos (Nagao *et al.*, 2012). A Tabela 3 corrobora com essa hipótese pois os frascos com A/M e proporções RA:PM mais elevados resultaram em valores menores de alcalinidades, maiores valores de ácidos totais e pH reduzidos, quando comparados as demais categorias.

Com base no tempo técnico de digestão ( $T_{80}$ ), tempo necessário para que se atinja o acumulado de 80% do rendimento total de metano (Liang *et al.*, 2011), pode-se atribuir a necessidade de período de adaptação do inóculo ao acúmulo de ácidos intermediários para as condições de maior proporção de resíduo alimentar, notável para a menor relação A/M. As proporções RA:PM 1:1 e 3:1 demandaram períodos menores para que fossem atingidos seus  $T_{80}$ , os quais foram 17 e 13 dias respectivamente. A terceira categoria (A/M 0.2 gSV gSV<sup>-1</sup> e RA:PM 5:1) necessitou 35 dias, o que possivelmente está relacionado a inibição temporária citada anteriormente, causada pela maior proporção de substrato de rápida acidificação (resíduo alimentar).

Apesar de não apresentarem produções elevadas na fase inicial do teste, algumas categorias demonstraram adaptação e tardias produções de metano, porém, algumas categorias (A/M 0.5 e RA:PM 3:1 e 5:1) foram inibidas permanentemente por excesso de ácidos intermediários (Tabela 3), confirmando a influência associada da relação A/M e proporção RA:PM no desempenho do processo. A concentração de metano no biogás gerado nestas duas categorias também reflete essa inibição, apresentando valores inferiores aos demais (Tabela 3). A verificação de menor rendimento de metano para a categoria com maior proporção de resíduo alimentar também foi reportada por Zhan-Jiang *et al.* (2014) ao avaliarem proporção 4:1 de resíduo alimentar e palha de arroz, respectivamente.

### Conclusões

- Verificou-se influência da relação alimento/microrganismo (A/M) para a digestão anaeróbia, sendo 0.2 a mais produtiva dentre as avaliadas, principalmente em teste de curta duração.
- A proporção de resíduo alimentar e palha de milho (RA:PM) também apresentou influência no rendimento de metano, de forma independente e associada à relação alimento/microrganismos, para os intervalos avaliados.
- A aplicação de adequada relação A/M e codigestão entre resíduos alimentares e palha de milho podem maximizar a produção de biometano, elevando o rendimento e reduzindo a duração do processo. A relação A/M e proporção RA:PM mais adequadas foram 0.2 e 3:1, respectivamente.

### Agradecimentos

À CAPES – código de financiamento 001, ao CNPq, à FAPEMIG e ao INCT ETEs Sustentáveis pelo apoio financeiro.

### Referências bibliográficas

- APHA, AWWA, WEF (2012) *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 22th edition, American Public Health Association, Washington, 724pp.
- Cabbai, V., De Bortoli, N., Goi, D. (2016) Pilot plant experience on anaerobic codigestion of source selected OFMSW and sewage sludge. *Waste Management*, **49**, 47-54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.014>
- Gottardo, M., Micolucci, F., Bolzonella, D., Uellendahl, H., Pavan, P. (2017) Pilot scale fermentation coupled with anaerobic digestion of food waste - Effect of dynamic digestate recirculation. *Renewable Energy*, **114**, 455–463. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.047>

- Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., Bougrier, C., Buffière, P., Carballa, M., Wilde, V., Ebertseder, F., Fernández, B., Ficara, E., Fotidis, I., Frigon, J.C., Laclos, H.F., Ghasimi, D.S.M., Hack, G., Hartel, M., Heerenklage, J., Horvath, I.S., Jenicek, P., Koch, K., Krautwald, J., Lizasoain, J., Liu, J., Mosberger, L., Nistor, M., Oechsner, H., Oliveira, J.V., Paterson, M., Pauss, A., Pommier, S., Porqueddu, I., Raposo, F., Ribeiro, T., Pfund, F.R., Strömberg, S., Torrijos, M., Eekert, M.v., Lier, J.v., Wedwitschka, H., Wierinck, I. (2016) Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Science and Technology*, **74**(11), 2515–2522. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>
- Jenkins, S. R., Morgan, J. M., Sawyer, C. L. (1983) Measuring anaerobic sludge digestion and growth by a simple alkalimetric titration. *Journal of Water Pollution*, **55**(5), 448-453.
- Li, W., Loh, K., Zhang, J., Tong, Y.W., Dai, Y. (2018) Two-stage anaerobic digestion of food waste and horticultural waste in high-solid system. *Applied Energy* **209**, 400-408. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.042>
- Liang, Y. G., Zheng, Z., Hua, R.; Luo, X. Z. (2011) A preliminary study of simultaneous lime treatment and dry digestion of smooth cordgrass for biogas production. *Chemical Engineering Journal*, **174**(1), 175-181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.08.071>
- Nagao, N., Tajima, N., Kawai, M., Niwa, C., Kurosawa, N., Matsuyama, T., Yusoff, F.M., Toda, T. (2012) Maximum organic loading rate for the single-stage wet anaerobic digestion of food waste. *Bioresource Technology*, **118**, 210-218. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.045>
- Rafieenia, R., Giroto, F., Peng, W., Cossu, R., Pivato, A., Raga, R., Lavagnolo, M.C. (2017) Effect of aerobic pre-treatment on hydrogen and methane production in a two-stage anaerobic digestion process using food waste with different compositions. *Waste Management*, **59**, 194–199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.028>
- Rahman, M. A., Moller, H.B., Saha, C.K., Alam, M.M., Wahid, R., Feng, L. (2017) Optimal ratio for anaerobic co-digestion of poultry droppings and lignocellulosic-rich substrates for enhanced biogas production. *Energy for Sustainable Development*, **39**, 59–66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.04.004>
- Rajagopal, R., Bellavance, D., Rahaman, M. S. (2017) Psychrophilic anaerobic digestion of semi-dry mixed municipal food waste: For North American context. *Process Safety and Environmental Protection*, **105**, 101–108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.10.014>
- Ripley, L. E., Boyle, W. C., Converse, J. C. (1986) Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *Water Pollution Control Federation*, **58**(5), 406-411.
- Siddique, M. N. I., Wahid, Z. A. (2018) Achievements and perspectives of anaerobic co-digestion: A review. *Journal of Cleaner Production*, **194**(1), 359–371. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.155>
- Waste Atlas (2013) *1<sup>st</sup> Annual report of Waste Atlas*. ISWA, WTER, WEEPNET, University of Leeds, SWAP. ISSN 2241-2484. Acesso em 17 de outubro de 2019, disponível em: <http://www.atlas-d-waste.com/Documents/WASTE%20ATLAS%202013%20REPORT.pdf>
- Yong, Z., Dong, Y., Zhang, X., Tan, T. (2015) Anaerobic co-digestion of food waste and straw for biogas production. *Renewable Energy*, **78**, 527–530. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.033>
- Zhan-Jiang, P., Jie, L., Feng-Mei, S., Su, W., Ya-Bing, G., Da-Lei, Z. (2014) High-solid Anaerobic Co-digestion of Food Waste and Rice Straw for Biogas Production. *Journal of Northeast Agricultural University*, **21**(4), 61–66. doi: [https://doi.org/10.1016/S1006-8104\(15\)30021-0](https://doi.org/10.1016/S1006-8104(15)30021-0)