

III-372 - UTILIZAÇÃO DA RELAÇÃO AI/AP COMO ESTRATÉGIA DE PARTIDA DE UM REATOR DE METANIZAÇÃO DE RESÍDUOS ALIMENTARES

Bernardo Ornelas Ferreira ⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental. Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Augusto de Assis Temponi Cabral Dias

Graduando em Engenharia Ambiental pela UFMG, bolsista de Iniciação Científica pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Nirvana Cecília Ribeiro

Técnica em Química e em Meio Ambiente, bolsista de Apoio Técnico no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Luis Felipe Dornfeld Braga Colturato

Engenheiro Ambiental. Doutor em Saneamento pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Diretor Executivo da Methanum Resíduo e Energia – Belo Horizonte (MG), Brasil.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne, Reino Unido. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG

Endereço ⁽¹⁾: Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901 Brasil. Tel: +55 (31) 9350-9095 - e-mail: ornelas.ambiental@gmail.com

RESUMO

A geração global de resíduos sólidos urbanos tem aumentado nas últimas décadas, tornando como desafio seu tratamento e disposição final. O resíduo alimentar, que representa uma importante fração dos RSU, tem sido considerado um substrato compatível com a geração de energia renovável a partir do uso do biogás, produzido no processo de digestão anaeróbia (DA) da matéria orgânica. No entanto, o acúmulo de ácidos orgânicos nos reatores de metanização tem sido reportado com um dos problemas operacionais mais recorrentes na prática. A relação entre alcalinidades (AI/AP) é citada como um método eficaz para detecção do acúmulo de ácidos orgânicos, em razão da estreita correlação destes ácidos com a destruição da capacidade de tamponamento do sistema. Em vista disso, lançou-se mão do monitoramento da relação entre alcalinidades durante a partida do sistema e ao longo da operação do reator. Esta pesquisa busca avaliar o desempenho do processo de partida de um reator anaeróbio (metanização) utilizando resíduo alimentar como substrato. Ao longo dos 396 dias operacionais, o reator de metanização demonstrou melhor desempenho em termos de rendimento de produção de metano durante as fases I e II ($444 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{tSV}^{-1}$ e COV variando de 1,0 a $2,4 \text{ kgSV}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$), quando comparada com a fase III ($160 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{tSV}^{-1}$; COV entre 1,0 e $1,7 \text{ kgSV}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ e substrato acidificado). O desempenho é ratificado pelos valores de AI/AP observados nas fases operacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Metanização, relação AI/AP, biodigestor, metano, biogás, resíduos alimentares.

INTRODUÇÃO

O tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) tem sido um desafio para maioria dos municípios brasileiros. Com a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), as municipalidades se viram obrigadas a buscar alternativas sustentáveis para a disposição e o tratamento RSU gerados no país. O descarte da matéria orgânica em aterro sanitário já é uma prática ilegal em diversos países do mundo face à geração difusa de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e contaminação de corpos hídricos.

O tratamento biológico da matéria orgânica residual via metanização tem sido aplicado com sucesso, devido ao baixo custo operacional, baixa taxa de geração de lodo e produção de biogás, o qual detém potencial energético para ser utilizado como calor, eletricidade e biocombustível. Entretanto, sistemas biológicos são susceptíveis a distúrbios em sua biocenose em virtude de desequilíbrios ambientais do meio, dado o aporte de substâncias nocivas e/ou letais à microbiota, presença de altas concentrações de nitrogênio amoniacal e a sobrecarga orgânica aplicada ao reator, a qual implica no acúmulo de metabólitos ácidos da acidogênese.

Diversos reatores de metanização têm sido desenvolvidos para o tratamento anaeróbio de resíduos alimentares. Especificamente, o resíduo alimentar, via de regra, contém uma elevada fração biodegradável, em forma de proteínas, lipídeos, carboidratos e outros micronutrientes. Os reatores de metanização de resíduos alimentares são mais susceptíveis a falhas quando aplicadas elevadas cargas orgânicas (Guo *et al.*, 2014).

O acúmulo de ácidos orgânicos destaca-se com um dos problemas operacionais mais recorrentes em reatores de metanização em escala real. No processo de partida de sistemas anaeróbios, quando a biocenose microbiana ainda é vulnerável a alterações bruscas na pressão parcial de hidrogênio, ou em eventos de sobrecarga orgânica, o acúmulo de metabólitos ácidos provenientes da acidogênese é mais pronunciado, eventualmente ocasionando o desequilíbrio e/ou colapso do sistema em virtude da inibição da metanogênese (Mata-Alvares *et al.*, 2000; Aquino e Chernicharo, 2005; Forster-Carneiro *et al.*, 2008; de Vrieze, 2013). Diante o exposto, faz-se necessário o monitoramento constante destes ácidos visando a identificação antecipada de instabilidade no processo.

A análise por cromatografia gasosa é capaz de identificar a concentração precisa dos principais ácidos orgânicos encontrados em um sistema anaeróbio. Contudo, a demanda por investimento em equipamentos e qualificação técnica torna a técnica economicamente pouco atrativa no âmbito do monitoramento de plantas de metanização em escala real, sobretudo em países em vias de desenvolvimento. Para tanto, necessita-se de procedimentos de monitoramento ambiental economicamente viáveis, tecnicamente simples e robustos para o prognóstico de instabilidade no processo de metanização.

O potencial hidrogeniônico (pH) é um parâmetro fundamental no que concerne o monitoramento e a estabilidade dos sistemas anaeróbios. Está intrinsecamente relacionado com a alcalinidade e os ácidos orgânicos formados no sistema, valendo-se como um indicador de acúmulo de ácidos e íons de H^+ no reator. Entretanto, por ser um parâmetro mensurado em escala logarítmica, a resposta ao acúmulo de ácidos no sistema pode ser lenta e comprometer a análise e interpretação destes dados.

A relação entre as alcalinidades intermediária (AI), equivalente à alcalinidade bicarbonato, e parcial (AP), equivalente à alcalinidade dos ácidos orgânicos, tem sido reportada na literatura (Ripley *et al.*, 1986) como um método eficaz para detecção do acúmulo de ácidos metabólitos, em razão da estreita correlação dos ácidos orgânicos com a destruição da capacidade de tamponamento do sistema (McCarty, 1964; Ripley *et al.*, 1986; Balaguer, 1992; Lahav e Morgan, 2004; Martín-Gonzalez *et al.*, 2013). A manutenção do equilíbrio ambiental no processo é muito importante, pois possibilita melhores rendimentos da produção de metano e maior grau de estabilização do lodo do reator de metanização, reduzindo os custos com sistemas de pós-tratamento da fração sólida removida do reator. Entretanto, relações AI/AP específicas, para diferentes tipos de substratos e condições operacionais, devem ser delineadas para melhor desempenho da etapa de metanogênese.

O estudo da relação entre alcalinidade visa avaliar, de modo simples e econômico, a estabilidade biológica da digestão anaeróbia, fornecendo dados válidos para o prognóstico de eventuais falhas do sistema, permitindo desta forma a adoção de medidas preventivas ou corretivas antes que a falha do sistema seja pronunciada.

Sob esse panorama, este trabalho tem como objetivo avaliar a estabilidade do processo de digestão anaeróbia durante a etapa de partida de um reator de metanização de resíduos orgânicos alimentares em função de diferentes relações AI/AP, com vistas a se obter maiores rendimentos na produção de metano.

MATERIAL E MÉTODOS

Aparato experimental

A presente pesquisa foi desenvolvida na Plataforma de Metanização de Resíduos Orgânicos (pMethar), instalada no Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O sistema, que recebe os resíduos alimentares gerados pelo restaurante universitário Setorial II, é dotado de uma unidade de triagem e cominuição, um tanque de alimentação de substrato, um reator de metanização, um reservatório de material digerido, uma unidade de separação sólido-líquido, um sistema de condicionamento e de acumulação de biogás, um sistema de cogeração de eletricidade e calor a partir do biogás e um sistema de secagem térmica de lodo.

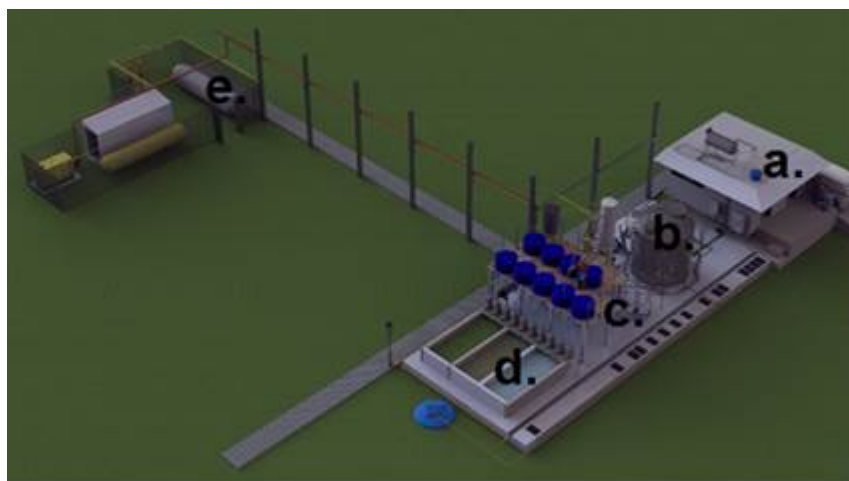


Figura 1: a) Contêiner de triagem/laboratório; b) reator de metanização; c) sistema de separação sólido-líquido; d) sistema de pós-tratamento do percolado; e) plataforma de armazenamento, tratamento e aproveitamento energético do biogás

O reator em estudo é operado em único estágio de digestão anaeróbia, sob a via úmida de tratamento (~5% de sólidos). O aparato foi confeccionado em PRFV, com diâmetro nominal de 3,00m, altura útil de 2,65m e volume útil de 18,8m³ (Tabela 1). A mistura do sistema é realizada por recirculação interna da biomassa através de bombeamento. O aquecimento do sistema é realizado pela recirculação de água quente em uma serpentina instalada na parte interna do reator. A água é aquecida por um sistema solar composto por coletores à vácuo.

Tabela 1: Principais características do reator de metanização

Parâmetros	Reator de Metanização
Volume útil (m ³)	18,8
Altura útil (m)	2,65
Diâmetro nominal (m)	3,00
Material	PRFV

A inoculação foi feita com 16 m³ de lodo anaeróbio mesofílico (ST = 4,2%; SV = 2,5%; pH = 7,02) proveniente de um reator UASB em escala plena tratando esgoto doméstico e 2,5 m³ de rúmen bovino (ST = 2,5%; SV = 1,8%; pH = 6,34) proveniente de um abatedouro.

A alimentação do reator de metanização foi procedida no período de segunda a sexta-feira, coincidente com os dias de funcionamento do restaurante universitário. Os resíduos foram transportados até a pMethar em contenedores de 120 L, sendo em seguida segregados para retirada de inertes (notadamente de copos plásticos e talheres), triturados em um triturador e então enviados para o tanque de alimentação de substrato (V = 2000 litros). Neste, era adicionada água para o ajuste da concentração de sólidos a valores próximos a 5% e depois procedida a alimentação do reator por meio de uma bomba de deslocamento positivo. Após o período de alimentação, que demandava cerca de 20 minutos, esta mesma bomba era utilizada para manter o conteúdo do reator em regime de recirculação contínua, até o dia seguinte, quando era feita nova alimentação de substrato.

Monitoramento operacional

A operação do reator de metanização ocorreu durante 396 dias. Nesse período foram monitorados a série de sólidos afluentes e efluentes ao reator (APHA, 2012), o pH e a temperatura, estes últimos aferidos por intermédio do pHmetro Quimis Tec-3MPP. A caracterização quantitativa e qualitativa do biogás foi feita, respectivamente, por meio de um medidor de gás (modelo Ítron tipo diafragma G2.5) e de um analisador de gás portátil Landtec GEM5000.

Acerca da estabilidade do processo, foram aferidas a alcalinidade parcial (AP), equivalente à alcalinidade bicarbonato, e a alcalinidade intermediária (AI), equivalente à alcalinidade dos ácidos orgânicos. Ripley et al.

(1986) estabelecem uma metodologia simples para determinação dos volumes de alcalinidade bicarbonato e de alcalinidade dos ácidos voláteis, a partir da titulação da amostra em dois estágios: titulação até o pH 5,75 que fornece a AP; e titulação até o pH 4,3, que fornece a AI. Valores dessa razão superiores a 0,3 sugerem a instabilidade do processo de digestão anaeróbia (Ripley *et al.*, 1986; Chernicharo, 2007).

Para tal análise, uma amostra composta é coletada em 3 alturas diferentes do reator de metanização, totalizando uma alíquota de 600 mL. Após a coleta, são filtrados 50 mL da amostra coletada (em um coador grosseiro), com intuito de remover as partículas sólidas em suspensão e avaliar apenas a alcalinidade dos ácidos orgânicos dissolvidos em meio aquoso. Tão logo concluída a filtração, a amostra é submetida à agitação constante e a titulação é feita com a adição de ácido sulfúrico 0,6N até que os pH de referência sejam alcançados.

Durante a partida do sistema, foi adotada a estratégia de aumento progressivo da carga orgânica volumétrica, com a aferição simultânea da relação AI/AP. Teve-se como meta a manutenção desta relação em valores inferiores a 0,3, indicativa da estabilidade do processo de digestão anaeróbia (Ripley *et al.*, 1986).

Em virtude da logística de coleta e transporte de resíduos e da rotina operacional da plataforma, o monitoramento foi dividido em três fases operacionais distintas: *Fase I* (dias 0 a 51), *Fase II* (dias 99 a 220) e *Fase III* (dias 315 a 395).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como estratégia de partida, as cargas orgânicas foram aplicadas de forma progressiva, com vistas à garantir a plenitude metabólica dos microrganismos envolvidos na metanogênese. A experiência mostra que reatores anaeróbios de mistura completa geralmente operam com cargas orgânicas volumétricas (COV) entre 1 e 4 kgSV.m⁻³.d⁻¹ (Verrier *et al.*, 1987; Cho *et al.*, 1995; Heo *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2007; Nagao *et al.*, 2012). Dessa forma, adotou-se cargas iniciais entre 1,2 e 1,7 kgSV.m⁻³.d⁻¹ para partida do reator na Fase I de operação (Figura 2). Nessa fase observou-se uma pronta produção de biogás ao alimentar o reator, sendo observados rendimentos médios de 317 m³CH₄.tSV⁻¹, resultado da elevada atividade metanogênica do inóculo utilizado (lodo anaeróbio de ETE + rúmem bovino).

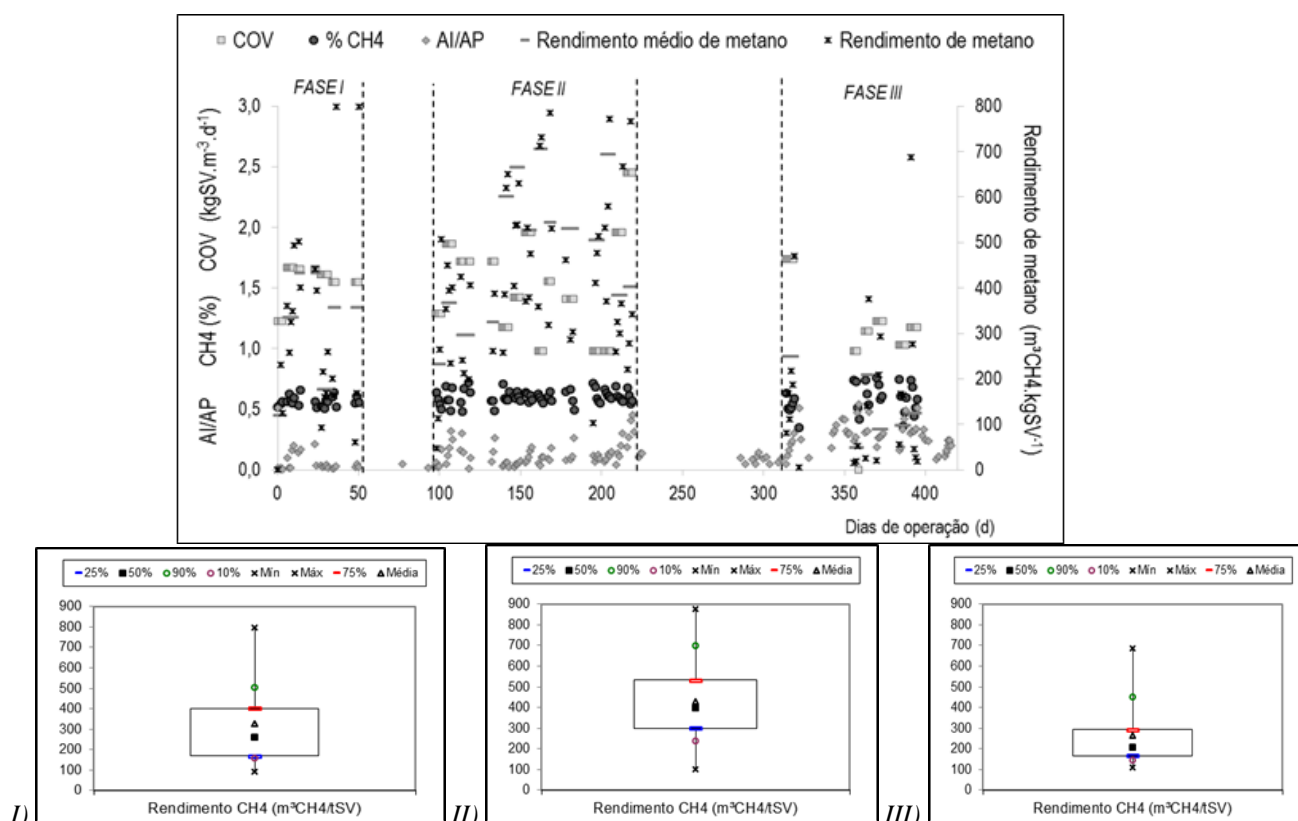


Figura 2: Série temporal do monitoramento da carga orgânica volumétrica, concentração de metano, relação AI/AP e rendimento de metano da *pMethar*; e boxplot do rendimento de produção de metano das Fases I, II e III, respectivamente

Após a primeira fase de operação, em virtude do recesso escolar, houve uma paralisação na operação de 50 dias até a retomada da operação normal. O início da segunda fase de operação foi considerado um novo processo de partida, e a fase caracterizada pela operação contínua do reator por 121 dias. Nessa fase utilizou-se da mesma estratégia de partida adotada *a priori* – partida com COV igual a 1,2 kgSV.m⁻³.d⁻¹.

Após a primeira semana de operação da Fase II foram avaliados os efeitos do incremento da COV para 1,9 kgSV.m⁻³.d⁻¹, que culminou no aumento do rendimento médio de produção de metano de 233 para 354 m³CH₄.tSV⁻¹. Entre os dias 114 e 151, houve a redução da COV para 1,7 kgSV.m⁻³.d⁻¹ o que resultou no decréscimo do rendimento de metano para 297 m³CH₄.tSV⁻¹. Essa tendência sugere a proporcionalidade entre a carga orgânica aplicada e a geração de metano.

Entretanto, quando aplicada as COV de 1,2 e 1,4 kgSV.m⁻³.d⁻¹ o rendimento de metano aumentou de 325 para 601 m³CH₄.tSV⁻¹, respectivamente. Esse comportamento fornece indícios que a biomassa, além de adaptada ao substrato, aumentou em massa e estava mais apta ao incremento da carga orgânica.

Ao fim da segunda fase operacional, aplicou-se a COV de 2,4 kgSV.m⁻³.d⁻¹, com o intuito de avaliar a robustez do processo de metanização. Nessa condição, observou-se os primeiros indícios de instabilidade do sistema, tais como: redução da concentração de CH₄ (sendo observados valores abaixo de 48,5%); redução do pH, comparado aos dias operacionais anteriores; e aumento da relação AI/AP para valores acima de 0,30 – indicando a instabilidade da metanogênese (Ripley *et al.*, 1986; Martín-González *et al.*, 2013). Ao final desta fase de operação houve o segundo período de recesso, em que a alimentação do reator foi cessada.

A Fase III é considerada como o terceiro processo de partida do reator. Nessa fase operacional foi aplicada a COV inicial de 1,7 kgSV.m⁻³.d⁻¹ (maior que as adotadas nas partidas anteriores). Essa carga provocou o acúmulo de ácidos orgânicos – indicados pela elevação da relação AI/AP (0,51), bem como pela queda brusca

da concentração de CH_4 (34,8%). Em decorrência disso, a alimentação do reator foi cessada, como medida preventiva, até recuperação do tamponamento do sistema (AI/AP inferior a 0,25). A alimentação foi retomada com COV de $1,0 \text{ kgSV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$.

Nessa fase, a relação entre alcalinidades ratifica a instabilidade da metanogênese, observados os valores aferidos entre 0,12 e 0,54, ao passo que nas fases precedentes essas relações eram sistematicamente menores (início da semana < 0,10 e fim da semana < 0,30). O acúmulo de ácidos, indicados pela elevação da relação AI/AP, resultou na atenuação do rendimento de CH_4 para um valor médio de $160 \text{ m}^3\text{CH}_4 \cdot \text{tSV}^{-1}$, sendo 50% dos valores concentrados entre 49 e $249 \text{ m}^3\text{CH}_4 \cdot \text{tSV}^{-1}$.

É interessante observar a variação da relação AI/AP para uma mesma COV. Em decorrência do protocolo de alimentação, observa-se o acúmulo de ácidos ao longo da semana, conforme detectado pelos crescentes valores de AI/AP, com os maiores valores ocorrendo, sistematicamente, na sexta-feira (último dia de alimentação em cada semana). Isso ocorre em virtude das diferentes taxas de crescimento máximas dos microrganismos envolvidos na digestão anaeróbia. A taxa de crescimento das bactérias acidogênicas é a maior do consórcio microbiano, sendo que as arqueias metanogênicas não conseguem degradar a totalidade dos ácidos orgânicos produzidos e acumulados durante a semana. Após dois dias sem alimentação (finais de semana), os valores de AI/AP retornavam a níveis bem mais baixos, em decorrência do consumo dos ácidos acumulados e da recuperação da alcalinidade do sistema.

Vale destacar que, na Fase III, o resíduo alimentar foi estocado no tanque de alimentação por até uma semana, que provocou a expressiva redução do pH para valores compreendidos entre 3,11 e 4,77 (Figura 3). Nessas condições, o tanque de alimentação atuava como um reator de pré-acidificação descontrolada, uma vez que reatores com essa finalidade operam com pH entre 5,5 e 6,5 (Liu e Whitman, 2008).

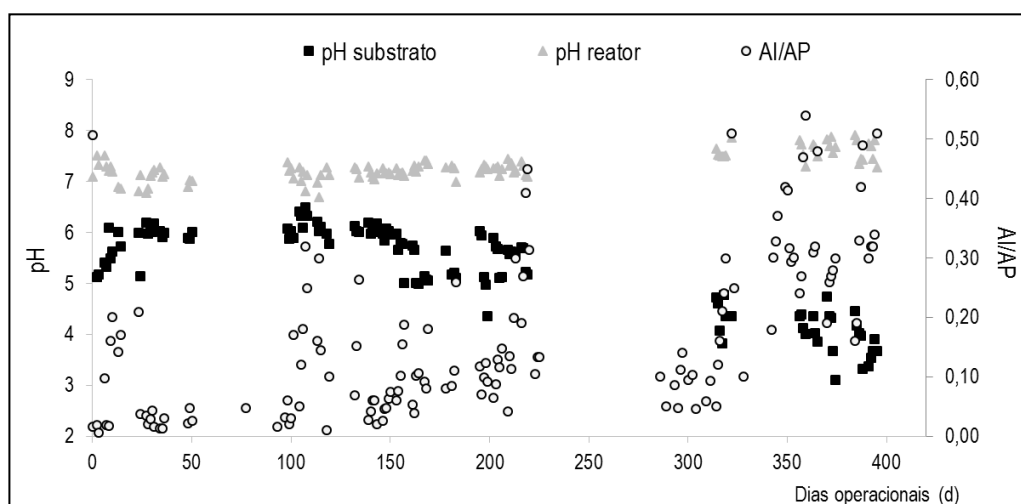


Figura 3: Série temporal do monitoramento da relação AI/AP, pH do substrato e do reator de metanização

Face esta premissa, levanta-se a hipótese que o estoque do substrato no tanque de alimentação (processo de acidificação sem controle) resulte na maior liberação de ácidos orgânicos intermediários (ácidos butírico e propiônico). Uma vez que esses ácidos não são substratos diretos das arqueias metanogênicas, presume-se que as cargas orgânicas com substrato pré-acidificado sejam mais prejudiciais ao sistema de metanização, se comparadas às mesmas cargas orgânicas aplicadas com substrato ainda “fresco”.

Quando o estoque de substrato se faz necessário, sugere-se a aplicação de um meio alcalino para incrementar a capacidade tampão do meio, neutralizando os metabólitos ácidos acumulados no tanque de alimentação do reator. Face aos valores neutros de pH e a alcalinidade disponível no efluente do reator de metanização, formula-se a hipótese de que a utilização deste efluente para pré-inoculação do substrato, ainda no tanque de alimentação, promoverá a neutralização dos ácidos orgânicos intermediários ali formados - efeito tampão. No entanto, deve-se ter precaução quanto a pré-inoculação, para que não haja a degradação da matéria orgânica no tanque de introdução e consequentemente redução na produção de metano no reator e geração de GEE.

Outra hipótese a ser levantada é a limitação da hidrólise em função do diâmetro das partículas do substrato. Entre os dias 183 e 195, houve a interrupção da operação para manutenção do equipamento de trituração,

danificado por um talher que não fora previamente triado. Notou-se, após esse evento, um maior tamanho médio das partículas trituradas, o que pode reduzir a disponibilidade de nutrientes para os microrganismos, em decorrência da sedimentação parcial das partículas de maior tamanho, limitando o rendimento de metano do reator.

CONCLUSÃO

O reator de metanização apresentou melhor desempenho para o tratamento dos resíduos alimentares nas fases I e II (233 a $601 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{tSV}^{-1}$ e COV variando de $1,0$ a $2,7 \text{ kgSV.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$), quando comparada com a Fase III (90 e $125 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{tSV}^{-1}$; COV entre $1,0$ e $1,7 \text{ KgSV.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ e substrato acidificado). O desempenho do reator pode ser correlacionado com os valores de AI/AP observados entre as fases operacionais.

Na Fase III, apesar das mesmas COV aplicadas anteriormente, o monitoramento do reator acusou a instabilidade metanogênica, que pode ser atribuída à estocagem do substrato no tanque de alimentação. A acidificação do substrato, sem o controle adequado (pH entre $3,11$ e $4,77$), pode ter promovido um desequilíbrio da biota metanogênica e, conseqüentemente, a redução do rendimento de produção de metano.

O protocolo de alimentação requer precaução quanto ao preparo e estocagem do substrato. A depender das condições de pH desse substrato, sugere-se a aplicação de um meio alcalino para incrementar a capacidade tampão do sistema, neutralizando os metabólitos ácidos acumulados no tanque de alimentação do reator. Para mitigar os efeitos adversos da acidificação sugere-se, ainda, que a alimentação do reator ocorra no mesmo dia da triagem, ou seja, a alimentação seja feita com o resíduo “fresco”, a fim de evitar a liberação de ácidos orgânicos.

Por fim, a relação entre alcalinidades mostrou-se como uma eficiente ferramenta de monitoramento operacional de reatores de metanização, em que baixos valores de AI/AP ($<0,3$) refletiram em ótimos rendimentos de produção de metano e, por consequência, maior capacidade de tratamento de resíduos orgânicos e maior potencial de geração energética.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido das seguintes agências e instituições: CNPq, FAPEMIG, FEAM, SNSA - Ministério das Cidades, Escola de Engenharia da UFMG, Departamento de Gestão de Áreas Verdes da UFMG, Methanum Engenharia Ambiental, WBS Automação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AQUINO, S.F.; CHERNICHARO, C.A.L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 10, n. 2, p. 152-161, 2005.
2. APHA, Standard Methods for the Examination and Water and Wastewater, twenty first ed. American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington DC. 2005
3. BAN, Q.; LI, J.; ZHANG, L.; JHA, A. K.; e NIES, L. Linking performance with microbial community characteristics in an anaerobic baffled reactor. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 169, 1822–1836. 2013
4. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília-DF. 2010.
5. CHERNICHARO, C.A.L. Digestores Anaeróbios. Belo Horizonte: DESA-UFMG. P. 245, 2007.
6. DE VRIEZE, J.; VERSTRAETE, W.; BOON, N. Repeated pulse feeding induces functional stability in anaerobic digestion. *Microbial Biotechnology*, v. 6, n. 4, p. 414-424, 2013.
7. DE VRIEZE, J.; HENNEBEL, T.; BOON, N.; VERSTRAETE, W. Methanosarcina: the rediscovered methanogen for heavy-duty biomethanation. *Bioresource Technology*, 112, 1-9. 2012
8. FORSTER-CARNEIRO, T.; PÉREZ, M.; ROMERO, L. I. Influence of total solid and inoculum contents on performance of anaerobic reactors treating food waste. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 15, p. 6994-7002, 2008.

9. GUO, X.; WANG, X.; SUN, F.; ZHU, W.; WU, W. A Comparison of microbial characteristics between the thermophilic and mesophilic anaerobic digesters exposed to elevated food waste loadings. *Bioresource Technology*, 152, 420–428. 2014
10. LIU, Y., WHITMAN, W. B. Metabolic, phylogenetic, and ecological diversity of the methanogenic archaea. *Annals of the New York Academy of Sciences. Incredible Anaerobes from Physiology to Genomics to Fuels*. Vol. 1125, 171–189, 2008
11. MARTÍN-GONZÁLEZ, L.; FONT, X.; VICENT, T. Alkalinity ratios to identify process imbalances in anaerobic digesters treating source-sorted organic fraction of municipal wastes. *Biochemical Engineering Journal*, 76, 1-5. 2013
12. MATA-ALVAREZ, J.; MACÉ, S.; LLABRÉS, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, v. 74, n. 1, p. 3-16, 8// 2000.
13. NAGAO, N.; TAJIMA, N.; KAWAI, M.; NIWA, C.; KUROSAWA, N.; MATSUYAMA, T.; YUSOFF, F. M.; TODA, T. Maximum organic loading rate for the single-stage wet anaerobic digestion of food waste. *Bioresource Technology*, 118, 210-8. 2012
14. RIPLEY, L. E.; BOYLE, W.C.; CONVERSE, J. C., Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 58 (5), 406-411. 1986