

II-292 - EFEITO DA ADIÇÃO DE RESÍDUO ALIMENTAR NA CODIGESTÃO DE LODO DE ESGOTO

Janáína dos Santos Ferreira⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Doutoranda em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química (TPQBq/EQ/UFRJ). Professor Substituto EBTT do IFSP Campus Capivari.

Isaac Volschan Jr.⁽²⁾

Engenheiro Civil e Sanitarista pela Universidade Santa Úrsula (USU). D.Sc. em Engenharia de Produção (PEP/UFRJ). Professor Associado do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica/UFRJ.

Magali Christe Cammarota⁽¹⁾

Engenheira Química pela Escola de Química (EQ/UFRJ). D.Sc. em Bioquímica (IQ/UFRJ). Professor Associado do Departamento de Engenharia Bioquímica, Escola de Química/UFRJ.

Endereço⁽¹⁾: Av. Athos da Silveira Ramos, nº 149, Centro de Tecnologia – Escola de Química, Departamento de Engenharia Bioquímica, Bloco E, Sala 203 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-909 - Brasil - Tel: +55 (21) 3938-7568 - e-mail: janajanee@hotmail.com, christe@eq.ufrj.br

Endereço⁽²⁾: Av. Athos da Silveira Ramos, nº 149, Centro de Tecnologia – Escola Politécnica, Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Bloco D, Sala 202 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-972 - Caixa Postal 68570 - Brasil - Tel.: +55 (21) 3938-7982 – e-mail: volschan@poli.ufrj.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo da codigestão de lodo de esgoto com resíduo alimentar em escala de bancada. Diferentes proporções da mistura (volume de lodo: volume de resíduo alimentar) foram avaliadas em um primeiro ensaio: 100:0 (controle); 20:80; 40:60; 60:40 e 80:20, seguido de um segundo ensaio com proporções: 90:10; 85:15; 80:20 e 75:25, e ajuste do pH inicial para 7,5. O estudo resultou em uma inibição da produção de metano no primeiro ensaio e um aumento considerável na produção de biogás no segundo para todas as condições testadas. A melhor condição encontrada foi a mistura de 90% lodo e 10% resíduo, que apresentou maior produção de metano (184,2 mL CH₄/g SV aplicados) comparada à digestão de somente lodo (137,6 mL CH₄/g SV aplicados). Nesta condição, a redução de STV foi de 67,2% e a % metano no biogás de 76,1%, enquanto o controle apresentou redução de STV de 51,1% e biogás com 67,0% de metano.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto, Lodo, Tratamento secundário, Codigestão anaeróbia, Resíduo alimentar, Metano.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que até 60% do custo total do tratamento de águas residuárias municipais é proveniente de gerenciamento dos lodos (adensamento, estabilização, condicionamento, desidratação e disposição final). Como resultado, um esforço significativo tem sido dedicado para minimizar a produção de lodos ou aperfeiçoar seu tratamento (WANG et al., 2008; BRISOLARA e QI, 2011; NGHIEM et al., 2014; SEMBLANTE et al., 2014).

Devido ao crescente aumento populacional e consequente aumento da produção de lodo nas ETE, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), contemplada na Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), estabeleceu a necessidade de se gerir corretamente este lodo. A partir da criação da PNRS, foi determinado que os resíduos sólidos devem ser tratados e recuperados por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, antes de sua disposição final. São exemplos de tratamentos passíveis de serem aplicados no país a compostagem, a recuperação energética, a reciclagem e a disposição em aterros sanitários.

Uma eficaz e ambientalmente correta gestão do lodo seria a digestão anaeróbia. Além do benefício da aplicação do lodo digerido como fertilizante, a produção de biogás na digestão anaeróbia é cada vez mais

atrativa como uma tecnologia viável para produção de energia renovável devido a crescentes preocupações com a segurança energética, impactos ambientais e aumento do custo de energia para o tratamento de águas residuais (KHANAL et al., 2008; JENICEK et al., 2013).

A codigestão de lodo com um ou mais substratos tornou-se uma alternativa para melhorar o rendimento da digestão anaeróbia. O cosubstrato pode fornecer nutrientes que estejam deficientes no lodo e, ao mesmo tempo, proporcionar um efeito sinérgico positivo no meio, conduzindo à digestão estável e a melhorias no rendimento de biogás (JENSEN et al., 2014; MATA-ALVAREZ et al., 2014; YADVIKA et al., 2004).

Historicamente, a codigestão anaeróbia de lodo de esgoto e fração orgânica de resíduo sólido (FORSU) é a mais relatada na literatura. A FORSU pode fornecer nutrientes que estejam deficientes no lodo e, ao mesmo tempo, proporcionar um efeito sinérgico positivo no meio, conduzindo à digestão estável e a melhorias no rendimento de metano. Assim, a codigestão do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) com a FORSU pode contribuir para uma maior produção de metano, permitindo seu uso como insumo energético, sem prejudicar a estabilização do lodo. Soluções tecnológicas como a codigestão de lodo de esgoto com resíduo alimentar são exemplos de tratamentos passíveis de serem aplicados, já que diversos autores relatam resultados satisfatórios com essa tecnologia (KIM et al., 2003; GOU et al., 2014 e ZHANG et al., 2016).

Diante disso, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da adição de resíduo alimentar, proveniente de um restaurante universitário, na codigestão anaeróbia de lodo visando ao aumento da produção de metano. O estudo foi conduzido em escala de bancada, com diferentes proporções da mistura (volume de lodo: volume de resíduo alimentar).

METODOLOGIA

Coleta e caracterização de lodo e resíduo alimentar

O lodo foi proveniente de sistema de lodos ativados convencional do Centro Experimental de Saneamento Ambiental (CESA-UFRJ), localizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro, sendo coletado na linha de recirculação do decantador para o tanque de aeração e caracterizado em relação aos sólidos totais fixos (STF) e voláteis (STV), carbono, nitrogênio e umidade (APHA, 2005), e armazenado a 4°C até o momento de uso. Uma análise elementar (CHN) foi realizada em analisador Truspec Micro (LECO).

O resíduo alimentar (RA) foi proveniente do Restaurante Universitário do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Este RA foi submetido a uma redução de tamanho e homogeneização, sendo triturado em liquidificador (Figura 1) com adição de água destilada (o suficiente para que a umidade da mistura fosse igual a do lodo utilizado) e, posteriormente, submetido a uma caracterização físico-química.

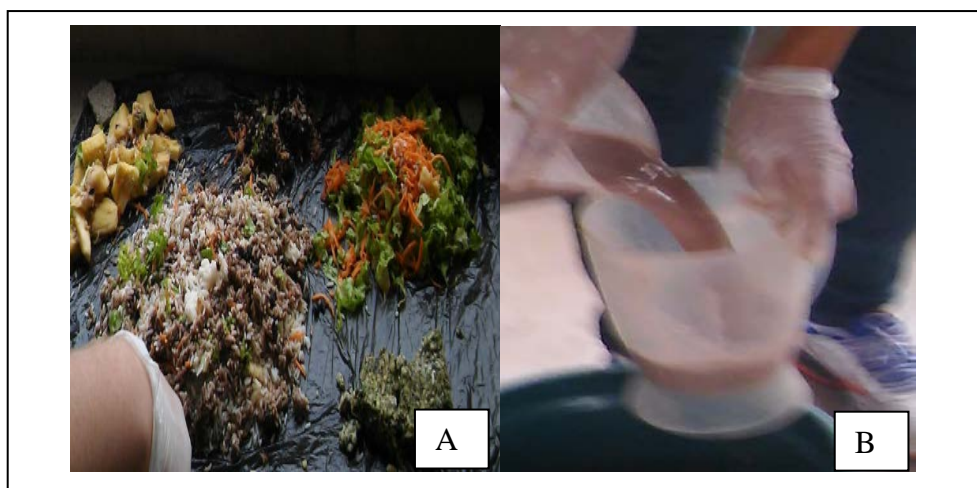


Figura 1: Resíduo Alimentar coletado no restaurante universitário da UFRJ (A) e mistura de restos de comida e água após trituração (B). Fonte: Própria autora, abril de 2015.

Para a caracterização desta mistura denominada, daqui em diante, de resíduo alimentar (RA), foram empregadas análises de pH, umidade (balança termogravimétrica IV 2000, Gehaka), sólidos totais e voláteis e óleos e graxas (APHA, 2005), concentrações de carboidratos (DUBOIS et al., 1956), proteínas (LOWRY et al., 1951), dos elementos carbono e nitrogênio (analisador Truspec Micro, Leco), e fósforo (APHA, 2005). Os resultados, para ambos os resíduos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização do Lodo e Resíduo Alimentar.

Parâmetro	Resíduo Alimentar	Parâmetro	Lodo CESA
pH	5,15	ST (mg/L)	1846
Umidade (%)	73,2	STF mg/L)	926
Carbono (%) ^a	51,6	STV mg/L)	920
Nitrogênio (mg/g) ^a	8,0	C (%) ^a	36,2
Fósforo (mg/g) ^a	0,03	N (%) ^a	3,8
Carboidratos (mg/g) ^a	83,3		
Proteínas (mg/g) ^a	97,7		
Óleos e graxas (mg/g) ^a	260,4		
Sólidos Totais (mg/g) ^b	267,68		
Sólidos Fixos (mg/g) ^b	16,31		
Sólidos Voláteis (mg/g) ^b	251,37		

^a g/100 g base seca

^a mg/ g base seca; ^b mg/g peso úmido

Ensaio de Codigestão em bancada

Foram realizados dois experimentos, o primeiro com lodo e maiores percentagens de RA (volume de lodo: volume de RA): 100:0 (controle); 80:20; 60:40; 40:60 e 20:80, e o segundo com lodo e menores percentagens de RA (volume de lodo: volume de RA): 100:0 (controle); 90:10; 85:15; 80:20 e 75:25. Todos os ensaios foram conduzidos em frascos tipo penicilina de 100 mL, contendo 90 mL de lodo ou mistura de lodo e RA. Em ambos os experimentos a umidade do RA foi corrigida para se igualar à umidade do lodo a ser digerido, de modo que todas as misturas apresentaram uma umidade inicial média de 95,6%. O pH inicial das misturas foi corrigido, em todos os frascos, com NaHCO₃ para 7,0 (no ensaio 1) e para 7,5 (no ensaio 2).

Após introdução da mistura e fechamento dos frascos com batoques de borracha e selos de alumínio, estes eram acoplados a seringas plásticas de 60 mL para medição do volume de biogás produzido. Os frascos foram incubados em sala climatizada a 30°C, sem agitação, até estabilização da produção de biogás (Figura 2). Cada condição foi avaliada em 5 réplicas.

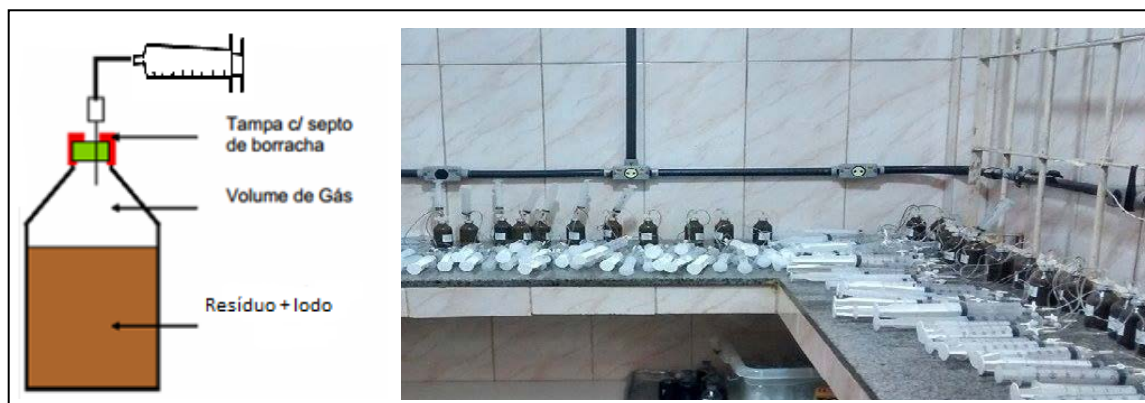


Figura 2: Frasco tipo penicilina usado nos ensaios de codigestão anaeróbia e incubação dos frascos em sala climatizada a 30°C.

Ambos os ensaios foram realizados com lodo do CESA-UFRJ, sendo medidos o pH (inicial e final), a concentração de STV (inicial e final) no início e após a estabilização da produção de biogás, e o volume diário de biogás produzido. No ensaio 2 também foi medido o percentual de metano no volume acumulado final de biogás. Em função da baixa produção de biogás verificada no ensaio 1 para todas as condições, este foi conduzido em 5 réplicas por apenas 7 dias. Enquanto o ensaio 2 foi conduzido em 4 réplicas por 42 dias. Análises de pH foram feitas por leitura direta em potenciômetro da marca Quimis (modelo Q 400 AS) e sólidos totais e voláteis (ST, STV) pelos métodos 2540 D e E (APHA, 2005). Atingida a estabilização da produção de biogás, amostras do mesmo acumulado eram tomadas e submetidas à cromatografia em fase gasosa para quantificação do percentual de metano. O biogás foi analisado em equipamento Micro GC VARIAN (CP-4900), empregando coluna PPQ 10m x 0,32mm, detector de condutividade térmica à 250°C, temperatura da coluna de 50°C, temperatura do injetor de 80°C e hélio como gás de arraste.

RESULTADOS

Nota-se que o lodo da Estação CESA-UFRJ (Tabela 1) apresenta baixas concentrações de ST devido à baixa disponibilidade de substrato (esgoto fraco, com valores médios de DBO de 161 mg/L), que impõe limitada concentração de sólidos no reator biológico aeróbio e, por conseguinte, de lodo de excesso. A relação STV/ST foi de 0,5 para o lodo CESA-UFRJ. Em relação às concentrações de carbono e nitrogênio, o lodo CESA-UFRJ apresentou 36,2% C e 3,8% N (em g/100g de massa seca), resultando em uma relação C:N de 9,5 e indicando deficiência de nitrogênio para a digestão anaeróbia.

Em geral lodos de ETE (primário e secundário) apresentam valor médio da relação STV/ST de 0,65 e uma faixa adequada da relação C:N para a digestão anaeróbia é de 10 a 30 (METCALF & EDDY, 1991). Conforme MATA-ALVAREZ et al. (2014), lodos de ETE são caracterizados pela relação C/N relativamente baixa e elevada capacidade tampão. Portanto, combinam bem com substratos contendo grandes quantidades de matéria orgânica facilmente biodegradável e baixos valores de alcalinidade.

Já a caracterização do RA (Tabela 1) revelou que este apresenta umidade elevada, menor que a do lodo, e pH ácido. A umidade, no entanto, se encontra dentro da faixa de 60,4 a 82,0 % reportada por outros autores (NEVES et al., 2008; CABBAI et al., 2013). O pH ácido também está de acordo com o reportado por Silva et al. (2013) que, para resíduos alimentares, indicaram valores de pH na faixa entre 4 e 6, de acordo com a composição dos resíduos. A concentração de fósforo é muito baixa, em relação ao carbono (C:P de 1720), indicando forte deficiência de fósforo para a digestão anaeróbia. Já a concentração de nitrogênio é maior que a necessária, em relação ao carbono (C:N de 6,5), para a digestão anaeróbia, considerando que o valor da relação C:N recomendada na literatura está entre 10 e 30 para uma boa digestão anaeróbia (WEILAND, 2001). Apesar de existir uma faixa ótima para a relação C:N, estudos demonstram que, dependendo do tipo e características do substrato utilizado na codigestão, essa relação pode mudar. No caso da codigestão de lodo e diferentes resíduos orgânicos provenientes de restaurantes, cantinas, quitandas, supermercados, residências e padaria, a maior produção de metano foi para resíduos de restaurantes com uma C:N de 15,1 (CABBAI et al., 2013).

A relação STV/ST para o RA foi de 0,94, valor próximo ao encontrado por Gou et al. (2014), que foi de 0,9, e indicativa de um elevado conteúdo de matéria orgânica. A composição química mostrou quantidades três vezes maior de óleos e graxas que proteínas e carboidratos, que apresentaram quantidades similares. Para o resíduo alimentar em questão a porcentagem de carboidratos difere do geral, o que pode ser explicado pela variação dos componentes do resíduo alimentar coletado. Cabbai et al. (2013), por exemplo, encontraram 47,5% e 30,5% de carboidratos e proteínas, respectivamente, para resíduos de restaurantes. Já Qiao et al. (2011) reportaram 12,9% e 15,2% de carboidratos e proteínas, para resíduos de frutas e vegetais. E por fim Kiran et al. (2014), na caracterização de resíduos alimentares, encontraram percentuais de 35,5 a 69% e 6,9% a 24,1% para carboidratos e proteínas, respectivamente.

Na Tabela 2 são apresentados resultados obtidos no primeiro experimento de codigestão anaeróbia de lodo de esgoto com maiores percentagens de RA. Nota-se que houve uma acentuada queda do pH (de 2,2 a 2,9 unidades) nos experimentos com lodo e RA. Esta queda de pH provavelmente ocorreu devido a uma elevada produção de ácidos voláteis a partir de matéria orgânica mais facilmente assimilável pelos microrganismos no RA, associada a um baixo tamponamento da mistura. Gou et al. (2014), avaliando a codigestão de lodo

secundário com resíduo alimentar, também verificou uma queda do pH de 7,0 para 4,9 e uma redução de 43% na remoção de STV. Entretanto, vale lembrar que os autores notaram esse comportamento em reator contínuo, diminuindo o tempo de detenção hidráulica (TDH) e aumentando a adição de RA e, conseqüentemente, aumentando a carga orgânica volumétrica (COV) de 1 para 8 g STV/L.d.

O aumento da produção específica de biogás (PEB) com maior percentagem de RA adicionada (Tabela 2), provavelmente se deu em função de gases produzidos (CO₂ e H₂) na fase acidogênica, já que os microrganismos metanogênicos sofrem inibição em valores de pH menores que 6,3 (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). A queda do pH em todas as diferentes misturas de lodo e maiores percentagens de RA também influenciou na estabilização do processo, verificando-se ao final do ensaio uma redução de STV 33%, em média, menor que a obtida no controle (Tabela 2).

Tabela 2: Resumo dos principais parâmetros analisados ao final ^b do ensaio com lodo de esgoto e adição de maiores percentagens de RA.

Mistura Lodo:RA (%)	Parâmetros ^a					
	pH inicial	pH final	Remoção STV (%)	Biogás (mL)	PEB ^c (mL/g STV _{apl.})	PEB ^c (mL/gSTV _{remov.})
Controle	7,0	7,0	28,2±1,8	4,0±0	29,1±0,5	103,4±11,2
80:20	7,0	6,5	18,6±1,5	4,0±0	54,8±1,5	278,8±25,8
60:40	7,2	5,0	22,9±0,5	14,2±5	62,9±2,5	323,6±50,4
40:60	7,0	4,1	17,2±0,7	70,0±26,0	97,3±3,0	564,9±80,7
20:80	7,0	4,6	16,2±1,7	78,7±6,3	83,0±1,8	438,7±25,8

^a média ± desvio-padrão. ^b aos 7 dias. ^c medido a 30°C/1 atm. PEB = produção específica de biogás.

Na Figura 3 verifica-se que a adição de RA ao lodo aumenta a produção de biogás a partir de 20% (v/v). No entanto, para percentuais de RA acima de 20%, apesar da produção de biogás no início ser muito maior em relação ao controle, a acentuada queda de pH (chegando a 4,1 para a mistura lodo:resíduo de 40:60), interrompeu o processo a partir do segundo dia. O acúmulo de AVT e, conseqüentemente, a falta de tamponamento do sistema acaba provocando a interrupção da produção de biogás. A redução do volume acumulado pode ser atribuída a perdas de biogás para o ambiente após interrupção da produção. Tal resultado confirmou a inviabilidade da adição de altas porcentagens de resíduo alimentar ao lodo sem um rigoroso monitoramento e controle do pH. Comportamento semelhante foi encontrado por Gou et al. (2014) e Sosnowski et al. (2008) na codigestão de lodo e RA com percentuais de 62% e 25%, respectivamente.

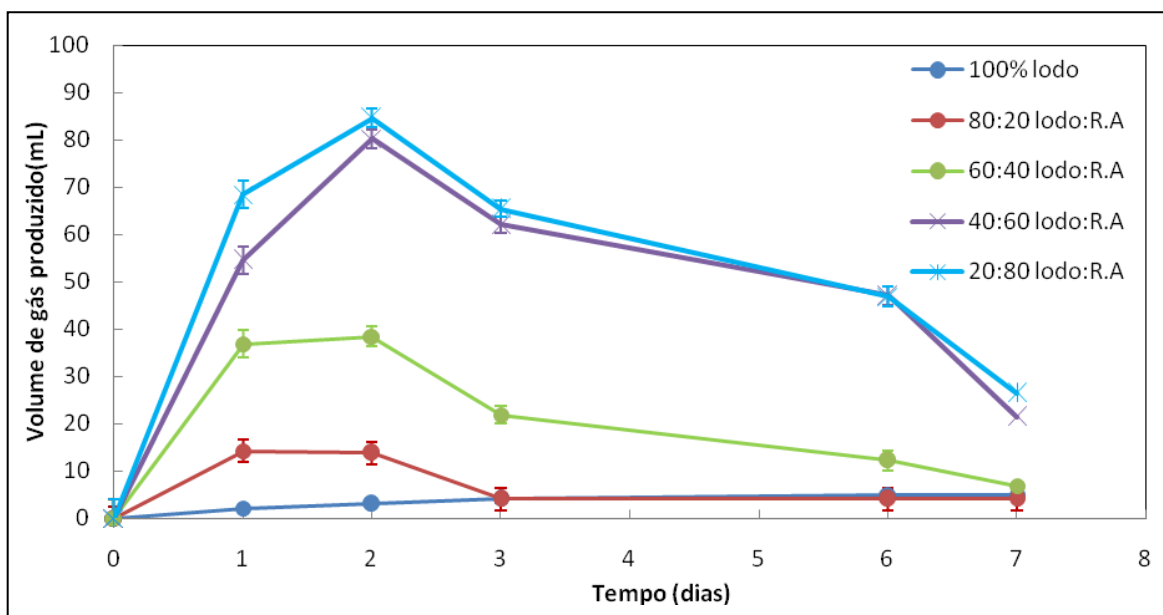


Figura 3 : Volume de biogás (30°C) acumulado com lodo puro (100% lodo) e misturas com maiores percentagens de RA ao lodo.

A hipótese de que maiores percentagens de RA adicionadas ao lodo seriam toleráveis após a correção do pH inicial para 7,0 não se comprovou. Portanto, percentagens menores de RA foram avaliadas na codigestão da mistura de lodo e RA. Na Tabela 3 é apresentado um resumo dos resultados obtidos no segundo ensaio de codigestão de lodo de esgoto com RA em percentagens menores (entre 10 e 25% v/v). Os resultados demonstram que com a adição de menores percentagens de RA ao lodo e uma maior alcalinidade inicial (maior adição de NaHCO_3), o pH se manteve na faixa adequada para metanogênese (7,2 – 7,6) nas misturas de RA e lodo. Em todas as condições testadas, a percentagem de metano, bem como a de redução de STV e a produção específica de metano (PEM), foram maiores em relação ao controle.

Tabela 3: Resumo dos resultados^a da codigestão de lodo de esgoto e adição de baixas percentagens de RA.

Mistura Lodo:RA (%)	pH inicial	pH final	Remoção STV (%)	Biogás ^c (mL)	CH ₄ ^c (%)	PEM ^c
100:0	7,5	7,0	51,1±8,5	17,0±2,8	67,0±1,7	137,6±25,4
90:10	7,5	7,3	67,2±4,8	67,3±1,5	76,1±1,6	184,2±17,4
85:15	7,5	7,2	59,2±4,7	72,0±17,1	75,4±2,5	147,6±13,8
80:20	7,5	7,3	57,8±7,4	101,8±18,3	75,4±3,7	167,9±24,1
75:25	7,5	7,2	51,9±7,4	100, ±4,8	73,9±3,8	120,5±22,8

^a médias de 4 réplicas. ^b valores finais aos 42 dias. ^c medido a 30°C/1 atm. PEM = produção específica de metano (mL CH₄/g STV_{aplicados}).

Na Figura 4 é apresentada a evolução da produção de biogás na codigestão de lodo com menores percentagens de RA. A adição de RA entre 10 e 25% (v/v) ao lodo, e ajuste do pH inicial para 7,5, apresentou melhores resultados em relação ao controle, com maior volume final de biogás (102 mL) para a adição de 20% RA em comparação ao controle (100% lodo), que apresentou valores de 17 mL. Nota-se que houve estabilização na produção de biogás a partir do 30º dia. Comportamento semelhante foi observado por Luostarinen et al. (2009) e Kim e Kang (2015), que alcançaram a estabilização da produção de biogás, também no 30º dia, na codigestão de lodo de esgoto com diferentes percentagens do lodo proveniente de indústria de processamento de carne e na codigestão de RA e microalgas, respectivamente.

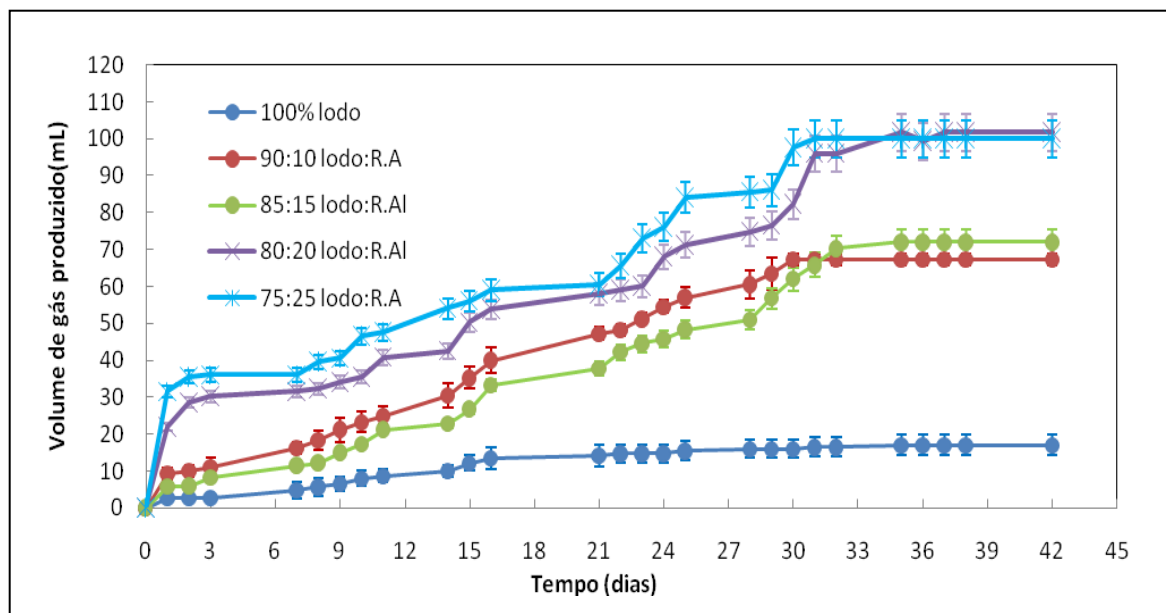


Figura 4: Volume de biogás (30°C) acumulado com lodo puro (100% lodo) e misturas com menores percentagens de RA ao lodo.

Comparando as quatro condições, a mistura com adição de 10% de RA apresentou melhor resultado. Para a adição de 10% de RA ao lodo verificou-se um aumento de 1,3 vezes da produção específica de metano (PEM) em relação ao controle, sendo a redução de STV de 67,2% e porcentagem de metano no biogás de 76,1% (Figura 5). Esses valores se aproximam do obtido por Kim et al. (2003) para a codigestão de lodo e 20% de RA, na qual obtiveram um aumento da PEM de 1,4 vezes em relação ao controle e 70,7% de CH₄ na composição do biogás. Um aumento de 1,4 e 1,5 vezes na PEM, na codigestão de lodo com 25% e 40% de RA, também foi reportado por Sosnowski et al. (2008) e Zhang et al. (2016), respectivamente.

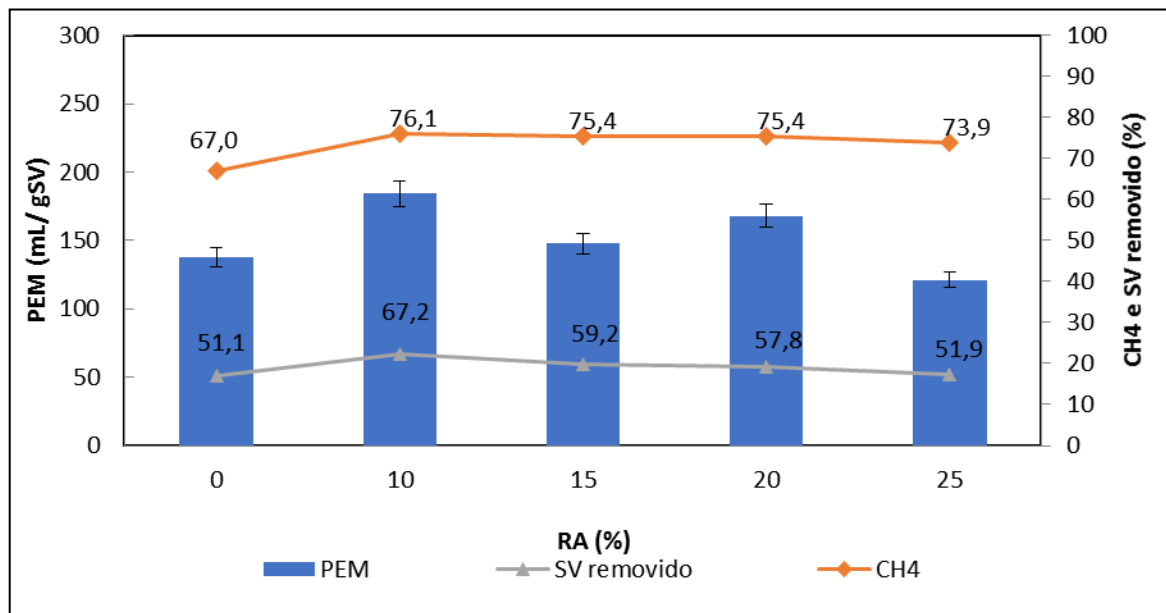


Figura 5: Comparação da PEM, %STV removido e %CH₄ no biogás para diferentes percentagens de RA adicionado ao Lodo.

Por fim uma comparação entre os valores de massa de STV removidos e volume de biogás acumulado em função da adição de RA ao lodo mostra maior remoção e volume de biogás acumulado no ensaio 2 (Figura 6). Tal resultado pode ser explicado pela queda do pH no ensaio 1, que provavelmente provocou acúmulo de AVT e uma possível inibição da metanogênese.

CONCLUSÕES

O resíduo alimentar (RA) se mostrou uma boa fonte de carbono e nutrientes, descartando a possibilidade de suplementação no processo de digestão anaeróbia. Devido ao alto percentual de STV, carboidratos e proteínas, a produção de biogás e metano foi favorecida até o limite de 25% v/v de RA adicionado ao lodo. Valores superiores provocaram acúmulo de AVT e queda do pH.

Na avaliação de diferentes proporções de RA (em % v/v: 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 e 20:80) adicionado ao lodo, sem correção do pH inicial, observou-se que quanto maior a concentração de RA na mistura, maior o decaimento do pH. Em todas as condições houve decaimento do pH e ausência de metano. O controle foi superior, em todas as condições, quanto à remoção de STV e a PEB.

A adição de menores percentagens de RA na mistura com o lodo (em % v/v: 100:0, 90:10, 85:15, 80:20 e 75:25), com correção do pH inicial para 7,5, permitiu melhor tamponamento, aumento da produção de metano, bem como maior remoção de STV e PEM, em relação ao controle e em todas as condições testadas. Concluiu-se que o lodo CESA-UFRJ pode receber apenas 10% de RA, obtendo-se PEM de 184,2 mL CH₄/g STV aplicados.

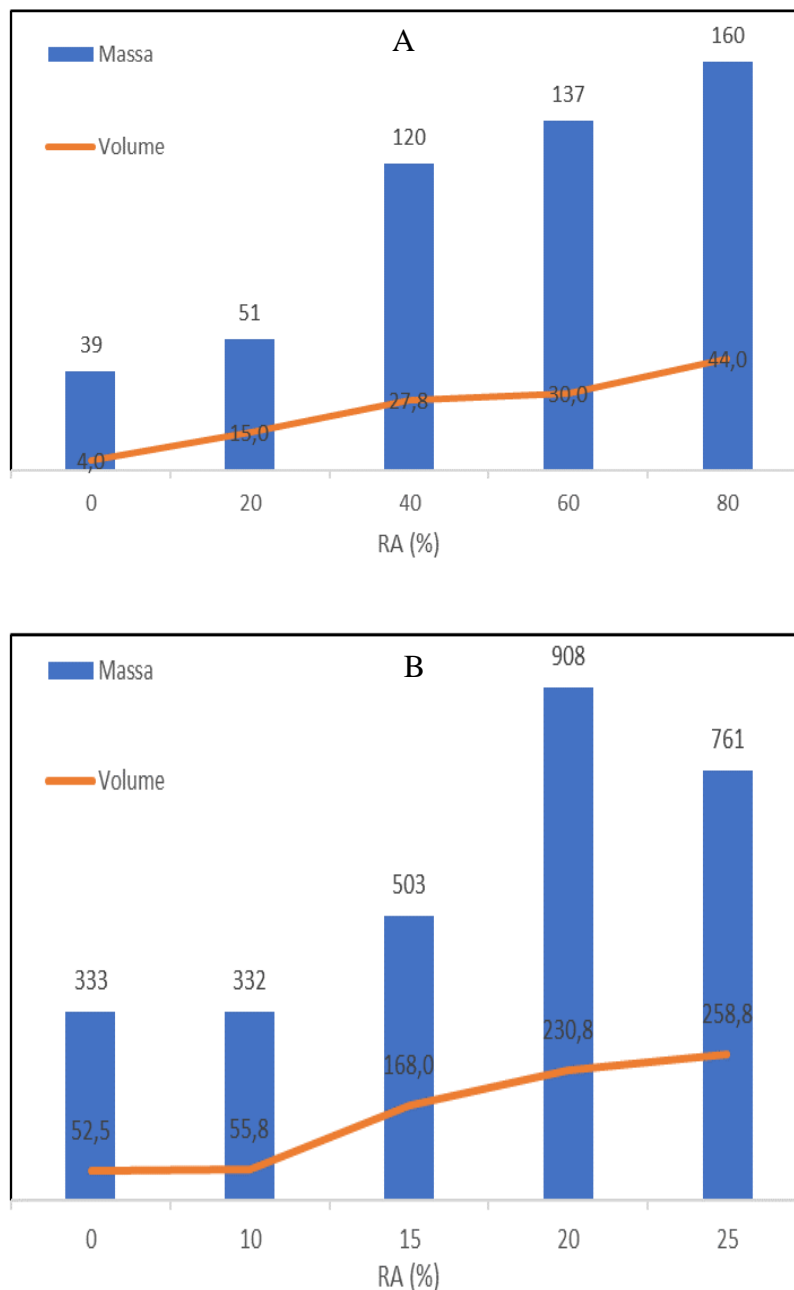


Figura 6: Valores de Massa de STV removidos (mg) x Volume de Biogás acumulado (mL) para ensaio 1 (A) e ensaio 2 (B) em função da porcentagem de RA adicionado ao Lodo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA (American Public Health Association). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18 ed., New York, 2005.
2. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Governo Federal, 2010.
3. BRISOLARA, K.F.; QI, Y. Biosolids and sludge management. Water Environ. Res., v. 87, p. 1147-1166, 2011.
4. CABBAL, V. et al. BMP tests of source selected OFMSW to evaluate anaerobic codigestion with sewage sludge. Waste Manage., v. 33, p. 1626–1632, 2013.

5. DUBOIS, M., GILLES, A., HAMILTON, J.K., REBERS, P.A., SMITH, F. Colorimetric method of determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* v. 28, p. 350-355, 1956.
6. GOU, C. et al. Effects of temperature and organic loading rate on the performance and microbial community of anaerobic co-digestion of waste activated sludge and food waste. *Chemosphere*, v. 105, p. 146–151, 2014.
7. JENICEK, P. et al. Energy self sufficient sewage wastewater treatment plants: is optimized anaerobic sludge digestion the key? *Water Sci. Technol.* v. 68, p. 1739-1743, 2013.
8. JENSEN, P. D. et al. Anaerobic codigestion of sewage sludge and glycerol, focusing on process kinetics, microbial dynamics and sludge dewaterability. *Water Res.*, v. 67, n. 60, p. 355-366, 2014.
9. KHANAL, S.K. et al. Bioenergy and biofuel production from wastes/residues of emerging biofuel industries. *Water Environ. Res.*, v. 80, p. 1625-1647, 2008.
10. KIM, H.-W.; HAN, S.-K.; SHIN, H.-S. The optimization of food waste addition as a co-substrate in anaerobic digestion of sewage sludge. *Waste Management & Research: The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, v. 21, n. 6, p. 515–526, 2003.
11. KIM, J., KANG, C.M. Increased anaerobic production of methane by co-digestion of sludge with microalgal biomass and food waste leachate. *Bioresource Technol.*, v. 189, p. 409–412, 2015.
12. KIRAN, E. et al. Bioconversion of food waste to energy: A review. *Fuel*, v. 134, p. 389–399, 2014.
13. LOWRY, O.H., ROSEBROUGH, N.J., LEWIS F.A., RANDALL, R.J. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, v. 193, p. 265-275, 1951.
14. LUOSTARINEN, S., LUSTE, S., SILLANPÄÄ, M. Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant. *Bioresource Technol.*, v. 100, p. 79–85, 2009.
15. MATA-ALVAREZ, J. et al. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, v. 36, p. 412–427, 2014.
16. METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., New York, 1991.
17. NEVES, L. et al. Influence of composition on the biomethanation potential of restaurant waste at mesophilic temperatures. *Waste Manage.*, v. 28, p. 965–972, 2008.
18. NGHIEM, L.D. et al. Co-digestion of sewage sludge and crude glycerol for on demand biogas production. *Int. Biodeter. Biodegr.*, v. 95, p. 160-166, 2014.
19. QIAO, W. et al. Biogas production from supernatant of hydrothermally treated municipal sludge by upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Bioresource Technol.*, v. 102, p. 9904–9911, 2011.
20. SEMBLANTE, G. U. et al. Sludge cycling between aerobic, anoxic and anaerobic regimes to reduce sludge production during wastewater treatment: Performance, mechanisms, and implications. *Bioresource Technol.*, v. 155, p. 395–409, 2014.
21. SOSNOWSKI, P. et al. Kinetic investigations of methane co-fermentation of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes. *Bioresource Technol.*, v. 99, p. 5731–5737, 2008.
22. VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G., *Tratamento anaeróbico de esgoto. Um manual para regiões de clima quente*. Ed. Campina Grande, Brasil: Universidade da Paraíba, 1994.
23. WANG, H., BROWN, S.L., MAGESAN, G.N., SLADE, A.H., QUINTERN, M., CLINTON, P.W., PAYN, T.W. Technological options for the management of biosolids. *Environ. Sci. Pollut. Res.* v. 15, p. 308-317, 2008.
24. WEILAND, P.: *Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate*; VDI-Berichte, n° 1620 "Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven"; VDI-Verlag; p. 19-32, 2001.
25. YADVIKA, S; SREEKRISHNAN T.R.; KOHLI, S; RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques-a review. *Bioresource Technol.*, v. 95, p. 1-10, 2004.
26. ZHANG, J. et al. Optimization and microbial community analysis of anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge based on microwave pretreatment. *Bioresource Technol.*, v. 200, p. 253–261, 2016.