

III-295 - AVALIAÇÃO DA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE BORRA DE CAFÉ E RESÍDUOS ALIMENTARES VISANDO OTIMIZAR A BIODEGRADAÇÃO E A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Roberta Arlêu Teixeira⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes). Mestre em Tecnologias Sustentáveis pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes). Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Bárbara Almeida Bueno⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

Lorrana Ignácia Barboza⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

Raquel Machado Borges⁽⁴⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professora do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

Jacqueline Rogeria Bringhentí⁽⁵⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestre em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo (USP). Doutora em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo (USP). Professora do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 44302 - Agronomia - RS - CEP: 91501-970 - Brasil - Tel: +55 (51) 3308-6686 - e-mail: roberta.arleu@ufrgs.br

RESUMO

O café é a segunda *commoditie* mais negociada depois do petróleo, e o Brasil, o maior produtor e segundo maior consumidor no mundo. Dentre os resíduos gerados a partir das etapas de produção, beneficiamento e consumo do café, a borra de café vem se destacando pela grande quantidade gerada (6 milhões de toneladas ao ano) e pelas características do resíduo, que contém em sua composição um alto teor de matéria orgânica, e um grande número de compostos orgânicos, dentre carboidratos, proteínas, lipídios, minerais, fenóis, polifenóis e cafeína, que potencializam sua valorização sustentável. Devido ao alto teor de matéria orgânica e de lipídios (principal matéria-prima na produção de metano), a valorização da borra de café por meio da digestão anaeróbia se mostra muito interessante, uma vez que esta técnica, além de promover uma destinação sustentável para o resíduo, possibilita a geração de subprodutos que podem ser aproveitados, como o biogás (para produção de energia elétrica) e o biofertilizante (que serve como adubo orgânico). Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a digestão anaeróbia de borra de café visando determinar o seu potencial de produção de biogás e metano. A codigestão foi avaliada por meio do teste BMP, nas proporções de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de borra de café em peso seco. Os testes foram executados durante 45 dias, numa temperatura de 35°C, realizando-se a medição do volume de biogás produzido diariamente. O desempenho da codigestão dos resíduos foi avaliado ainda por meio da comparação dos reatores no início e no final do teste, considerando os parâmetros: pH, ST, STV e DQO. Como resultados, os melhores desempenhos foram obtidos para os reatores com 25% e 75% de borra de café, que alcançaram um Potencial de Produção de Biogás de 629 NmL/gSTV (25%) e 571 NmL/gSTV (75%), com remoções de ST, STV e DQO acima de 70%. A produção de biogás nestes reatores se mostrou compatível com a de substratos típicos utilizados na digestão anaeróbia, como resíduos alimentares, dejetos bovinos e suínos, inferindo sobre a viabilidade de utilização da codigestão anaeróbia de borra de café, nestas proporções, para produção de biogás e contribuindo para a valorização destes resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Borra de café, Digestão anaeróbia, Biogás, Resíduos Alimentares, Potencial Bioquímico de Biogás.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café do mundo, e o segundo maior consumidor do produto (ABIC, 2016). Dentre os resíduos gerados nas etapas de produção, beneficiamento e consumo do café, seja por via seca, úmida ou semiúmida, a borra de café se destaca pelo volume gerado e pelas características do resíduo (potencial de adubação, alto poder calorífico, dentre outras), que contribuem para o seu reaproveitamento sustentável (LUZ et al., 2017; MURTHY; NAIDU, 2012). Estima-se que para cada tonelada de café verde processado sejam gerados 650 kg de borra de café e para cada quilo de café solúvel produzido, sejam gerados 2 kg desse mesmo resíduo (MURTHY; NAIDU, 2012).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos reconhece a importância das etapas antecedentes à disposição final dos resíduos, devendo, esta, só ser realizada quando não existe outra alternativa de reaproveitamento, ou destinação final adequada. Assim, a mera disposição final dos resíduos em aterros sanitários não é mais suficiente para o cumprimento das exigências legais, sendo necessário que metas sejam traçadas para a redução, reutilização, reciclagem e, quando necessário, o tratamento dos resíduos (BRASIL, 2010).

O processo de digestão anaeróbia se apresenta como uma alternativa bem interessante para a destinação dos resíduos orgânicos pois além de promover sua estabilização, gera subprodutos que podem ser aproveitados, como o biogás (para produção de energia elétrica) e o biofertilizante (ou adubo orgânico), possibilitando ganhos tanto econômicos quanto ambientais.

Segundo Luz et al. (2017), a valorização energética da borra de café por meio da digestão anaeróbia possui grande potencial de aplicação, uma vez que a borra de café possui alto teor de matéria orgânica (acima de 90%), incluindo lipídios (acima de 25%), que são substratos com elevado potencial energético. Além de possibilitar um destino sustentável para o resíduo da borra de café, o aproveitamento energético do biogás gerado promove o uso de uma fonte de energia sustentável, evita as emissões de GEE, e, ainda, contribui para a diversificação a matriz energética.

O potencial de produção de biogás a partir da digestão anaeróbia da borra de café vem sendo estudado por diversos autores, porém, ainda não existe um consenso sobre os parâmetros que possibilitam um melhor desempenho, como inóculos, co-substratos, temperatura, dentre outros (LUZ et al., 2017). Cabe ressaltar ainda que em função da variação entre as características das borras de café produzidas nos diferentes processos, pode ocorrer variações de desempenho do processo de digestão anaeróbia e na produção de biogás, ainda que condições operacionais similares sejam adotadas.

OBJETIVO

O objetivo deste estudo é avaliar o potencial de produção de biogás a partir da co-digestão anaeróbia de borra de café e resíduos alimentares.

METODOLOGIA

O potencial de biodegradação da borra de café e dos resíduos alimentares foi avaliado por meio do teste do potencial bioquímico do metano (BMP), cujo objetivo é monitorar o volume de biogás gerado a partir de uma amostra dos resíduos em estudo. A metodologia utilizada foi adaptada a partir do trabalho de Aquino et al. (2007).

O teste foi desenvolvido em uma incubadora (Figura 1), onde a temperatura era mantida a 35°C (constante) durante todo o período de realização do experimento (45 dias), tendo em vista que esta é a temperatura normalmente utilizada em testes BMP (AQUINO et al., 2007).

Para realização do experimento foram utilizados diferentes percentuais de misturas de borra de café e resíduos alimentares provenientes de um restaurante de uma instituição de ensino (Tabela 1), colocados em frascos previamente esterilizados (reatores), de 250 mL, junto com lodo de ETE (inóculo).

Tabela 1 - Percentuais de resíduos avaliados por reator (gSV)

Reator	Borra de café	Resíduos Alimentares
R ₀	-	-
R ₁	0%	100%
R ₂	25%	75%
R ₃	50%	50%
R ₄	75%	25%
R ₅	100%	0%



Figura 1 - Incubadora utilizada para o teste BMP



Figura 2 - Aparato experimental para o teste BMP

O reator R₀ foi escolhido como controle negativo e, portanto, continha apenas lodo anaeróbio. Neste caso, o potencial de produção de biogás no reator corresponde à biodegradabilidade do lodo. O volume de biogás produzido em cada reator foi medido diariamente por meio do aparato mostrado na Figura 2. À medida que o biogás era produzido nos reatores (1), ele se deslocava por meio da mangueira de coleta (2), atingindo o Frasco de Mariotte (3), que continha água. Conforme o biogás enchia o Frasco de Mariotte, a água contida no frasco era deslocada para o recipiente de coleta (4). O volume de água coletado diariamente era medido por meio de uma proveta e correspondia ao volume de biogás produzido em cada reator, conforme descrito por Aquino et al. (2007).

O potencial máximo de produção de biogás foi obtido a partir do gráfico formado com os dados diários de volume de biogás produzido em cada reator, por meio de uma regressão linear.

O experimento constituiu-se de 4 etapas principais mostradas na Figura 3.

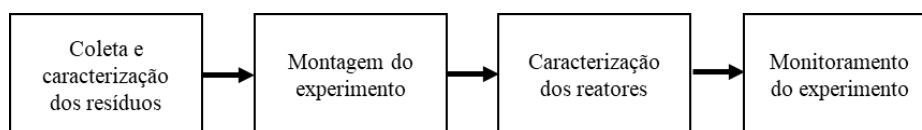


Figura 3 - Etapas do experimento

Coleta e Caracterização dos resíduos

Os substratos utilizados no experimento foram borra de café e resíduos alimentares, ambos provenientes de um restaurante de uma instituição de ensino. O processo de obtenção da borra foi extração aquosa à quente.

Para obtenção da amostra de resíduos alimentares, foi realizado um estudo para caracterização dos tipos e quantidades de resíduos gerados no restaurante da instituição por um período de 2 semanas. Após a realização do estudo, foi obtida uma amostra representativa, com composição definida conforme Tabela 2.

Para realização do experimento, procedeu-se a trituração dos resíduos (Figura 4) e adição de água, na proporção 2:1 (água:resíduo), sendo obtida uma amostra de aparência conforme a Figura 5.

Tabela 2 - Composição da amostra de resíduos alimentares utilizada neste estudo

Resíduo	%	Total de Resíduos Alimentares
Cascas	13,95	100%
Folhas e Talos	16,69	
Carne	4,62	
Outros	18,32	
Resto-ingestão	4,80	
Balcão self-service	41,61	



Figura 4 - Trituração dos resíduos.



Figura 5 - Amostra de resíduos alimentares utilizada

Como inóculo foi utilizado lodo anaeróbio proveniente de um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB) tratando esgoto sanitário em escala real. Para a realização do experimento, coletou-se uma amostra na altura correspondente ao leito de lodo do reator UASB, com teor de sólidos de aproximadamente 6%. Após coleta, os resíduos foram caracterizados de acordo com os parâmetros de interesse para a digestão anaeróbia: pH, DQO, Sólidos Totais (ST) e Sólidos Totais Voláteis (STV), e encaminhados para a montagem do experimento. A metodologia utilizada nas análises seguiu os procedimentos definidos em APHA (2005).

Montagem do experimento

Para a montagem do experimento primeiro foi realizado o cálculo das quantidades de resíduos e inóculos a serem contidas em cada reator, utilizando uma relação resíduo/inóculo de 1 gSV_{resíduo}/gSV_{inóculo}, e respeitando as porcentagens de gSV mostradas na Tabela 1. Considerou-se que o volume útil preenchido de cada frasco seria 100 mL. Como os valores de SV eram diferentes entre os resíduos utilizados, precisou-se adicionar água para preencher o volume útil determinado. As quantidades adicionadas de resíduos, inóculo e água em cada reator são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidades de resíduos, inóculo e água presentes em cada frasco

Reator	Borra de café (g)	Resíduos Alimentares (g)	Lodo de UASB (inóculo) (g)	Água (g)
R ₀	-	-	100	0,000
R ₁	0	2,431	50	47,569
R ₂	0,257	1,823	50	47,920
R ₃	0,514	1,215	50	48,271
R ₄	0,770	0,608	50	48,622
R ₅	1,027	0	50	48,973

Após o cálculo das quantidades a serem utilizadas dos substratos e do inóculo (Tabela 4), foi realizada a inoculação dos reatores anaeróbios, sendo medido o pH da mistura em cada reator. Em seguida, foi realizada a expurga de oxigênio, com a utilização de nitrogênio gasoso, durante 2 min, a 1 psi para criação de um ambiente propício para o desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios responsáveis pela digestão anaeróbia. Por fim, os reatores foram vedados, e o experimento iniciado.

O experimento foi realizado em triplicata, para todos os tipos de reatores, segundo a Tabela 4, sendo, no total, 18 reatores anaeróbios avaliados.

Monitoramento do experimento

Com o início do experimento, foi aferido o volume de biogás produzido em cada reator, diariamente, medindo-se a quantidade de água produzida no recipiente de coleta correspondente.

A fim de se padronizar os resultados encontrados para produção de biogás, foi realizada a transformação do volume gerado para as condições normais de temperatura e pressão (CNTP). A metodologia utilizada para esta conversão foi adaptada de Aquino et al. (2007). Considerando a pressão atmosférica do local onde serão realizados os experimentos, de 1 atm, e sendo a temperatura de incubação de 35 °C (308 K), a partir da equação 1, obtém-se o fator de correção para o experimento, nas condições de laboratório, conforme mostrado a seguir.

$$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_2 \times V_2}{T_2} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

$P_1 = 1 \text{ atm}$ = Pressão do biogás produzido;

$P_2 = 1 \text{ atm}$ = Pressão nas CNTP;

$T_1 = 308 \text{ K}$ = Temperatura de execução do teste BMP (35°C);

$T_2 = 273 \text{ K}$ = Temperatura nas CNTP;

V_1 = Volume gerado de biogás (medido na proveta);

V_2 = Volume de biogás corrigido para as CNTP.

Assim, chega-se na equação 2:

$$V_2 = V_1 \times 0,886 \quad \text{equação (2)}$$

Em seguida o volume de biogás obtido por reator foi dividido pela massa de STV adicionada, a fim de se obter o volume específico de biogás (NmL/gSTV).

Caracterização dos reatores

Os reatores foram caracterizados no início e no fim do experimento, com relação aos parâmetros: pH (USEPA, 2004), DQO colorimétrico, ST, SV, de acordo com APHA (2005).

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados da caracterização dos resíduos utilizados neste trabalho e os reatores antes do início do teste BMP são mostrados na Tabela 5. Os percentuais de remoção de DQO, ST, STV e o pH ao final do teste são mostrados na Tabela 6.

Tabela 5 - Características dos resíduos e inóculo utilizados no estudo e dos reatores no início do teste

-	pH	DQO (g/kg)	ST %	STV %
Borra de café	6,0	83,20	35,90	82,0
Resíduos Alimentares	5,4	107,20	13,10	94,0
Lodo Anaeróbio	7,0	35,50	2,04	55,0
R0	7,0	-	-	-
R1	7,0	-	-	-
R2	7,1	-	-	-
R3	7,0	-	-	-
R4	7,1	-	-	-
R5	7,1	-	-	-

Tabela 6 – Percentual de remoção da DQO, ST, SV e pH nos reatores ao fim do teste

Reator	R0	R1	R2	R3	R4	R5
% Remoção da DQO	29,08	34,43	75,30	46,56	71,91	29,21
% Remoção de ST	21,45	31,23	70,53	40,91	68,23	21,68
% Remoção de STV	25,68	35,42	72,68	43,93	70,05	29,36
pH	8,0	8,3	7,9	7,6	7,2	6,6

O volume de biogás por gSTV produzido nos reatores é mostrado na Figura 6.

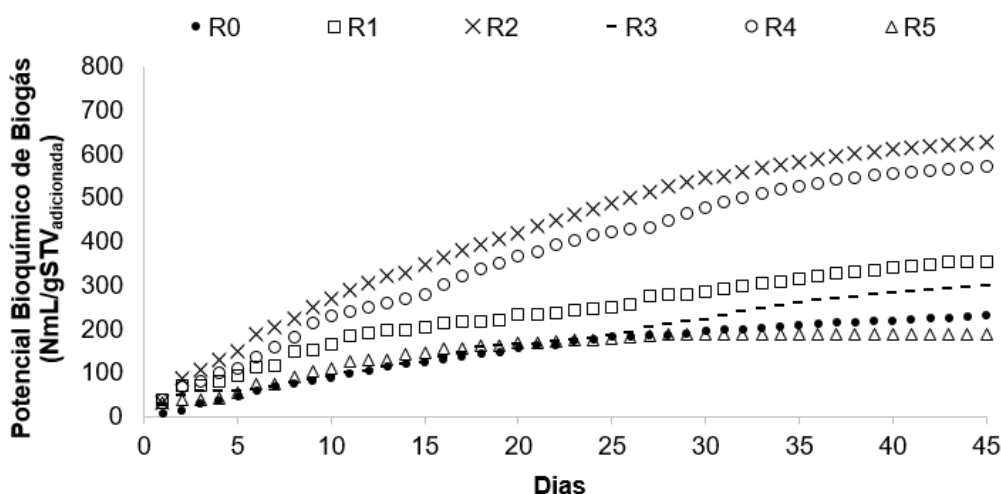


Figura 6 – Potencial Bioquímico de Biogás produzido em cada reator

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Com relação às características dos resíduos avaliados, pode-se verificar que o pH da borra de café é considerado ácido (6,0), estando dentro da faixa descrita pela literatura (4,5 a 6,3) (DAI et al., 2019; GIROTTO; LAVAGNOLO; PIVATO, 2018), porém fora da faixa ideal para o desenvolvimento das arqueas metanogênicas (6,3 a 7,8), o que indica a importância da codigestão e da utilização de um inóculo adequado, conforme apresentado nos estudos de Lane (1983), Rynk et al. (1992), Wu et al. (2010), Sawatdeenarunat et al. (2015) e Kim et al. (2017).

Apesar disso, os valores encontrados tanto para o pH dos resíduos alimentares, quanto para a borra de café e do lodo de ETE, estão dentro da faixa apresentada por outros trabalhos, sendo verificados valores de pH de

lodo de ETE entre 5 e 8 (ANDREOLI; VON SPERLING, FERNANDES, 2001), de resíduos alimentares entre 4,5 e 6,5 (NEVES; CARNEIRO; BERNI, 2015) e de borra de café entre 4,3 e 7,5 (LUZ et al., 2017).

Avaliando o resultado do pH dos reatores no início e no fim do experimento verificou-se que quanto maior o teor de borra de café na mistura, menor foi o pH obtido ao final do teste (Tabelas 5 e 6). Enquanto os reatores R0, R1, R2 e R3 apresentaram um aumento no pH durante a digestão anaeróbia, no reator R4 o valor inicial foi mantido, e o R5, com maior teor de borra, teve o valor de pH reduzido. Este comportamento também foi percebido por Luz et al. (2017) avaliando a digestão anaeróbia de borras de café, utilizando, entretanto, dejetos bovinos como inóculo. Depois de uma semana do *start up* dos reatores pelos autores, o pH foi reduzido de 7 para 5, sendo necessária a adição de uma agente tamponante para evitar a inibição do processo.

No entanto, no presente trabalho pode-se perceber um efeito benéfico da codigestão para o pH, uma vez que este parâmetro foi mantido dentro da faixa adequada para o desenvolvimento das arqueas metanogênicas nos reatores que possuíam lodo, borra de café e resíduos alimentares (R2, R3 e R4).

Com relação a eficiência na remoção da matéria orgânica, representada pelo percentual de remoção da DQO, e STV nos reatores (Tabela 6), percebe-se que os reatores que tiveram melhor desempenho foram R2 e R4, com uma remoção de ST de 70,5% e 68%, respectivamente, de 72,7% e 70% de STV e de 75,3% e 71,9% de DQO.

Estes reatores também foram responsáveis pela maior produção de biogás, durante todo o experimento, conforme pode ser visto na Figura 6, sendo possível obter valores do Potencial Bioquímico de Biogás (BBP) de 629 NmL/gSTV (R2) e de 571 NmL/gSTV (R4), valores compatíveis a substratos amplamente utilizados, como dejetos bovinos, suínos e esterco de aves (380 a 550 NmL/gSTV) (BRASIL, 2016).

O bom desempenho dos reatores deu-se, provavelmente, a maior aclimatação dos microrganismos contidos no lodo para estes reatores, que permitiu uma faixa adequada de pH para o desenvolvimento das arqueas metanogênicas. Isto indica que a co-digestão promoveu um fornecimento de substratos mais equilibrado aos microrganismos, complementando suas necessidades de minerais e metais, e minimizando possíveis efeitos inibidores ou tóxicos que ocorreriam na degradação de um único substrato (BRAUN; WELLINGER, 2002).

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos com este trabalho, verifica-se com base no referencial de literatura pesquisado que a co-digestão anaeróbia de borra de café e resíduos alimentares é benéfica ao processo de degradação destes substratos, se mostrando como uma alternativa tecnológica e sustentável e sobretudo viável de valorização deste resíduo orgânico.

O melhor desempenho na degradação da matéria orgânica e na produção de biogás foi obtido para as proporções de 25% e 75% de borra de café, que forneceram um Potencial de Produção de Biogás de 629,99 NmL/gSTV (R2) e 571 NmL/gSTV (R4), estando dentro da faixa encontrada para substratos típicos utilizados na digestão anaeróbia, como resíduos alimentares, dejetos bovinos e suínos.

Tendo em vista uma melhor compreensão do processo de digestão anaeróbia dos substratos avaliados, sugere-se o estudo de outros parâmetros importantes, como a formação de ácidos graxos voláteis (AGV) e a relação C/N nos reatores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ. Indicadores da indústria de café no Brasil – 2015. Rio de Janeiro, 2016.
2. ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2001. 483 p.
3. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20. ed. Washington DC/ USA: APHA, 2005.
4. 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. Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.12, p. 192-201, 2007.

5. BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, n. 147, 03. ago. 2010, Seção 1, p. 3-7. 2010.
6. BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Probiogás. Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás. Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2016. 147 p.
7. BRAUN, R.; WELLINGER, A. Potential of Co-digestion. IEA Bioenergy, p. 1–16, 2002.
8. CHERNICHARO, C.A.L. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 5 – Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: DESA, 2010. 246 p.
9. DAI, Y.; ZHANG, K.; MENG, X.; LI, J.; GUAN, X.; SUN, Q.; SUN, Y.; WANG, W.; LIN, M.; YANG, S.; CHEN, Y.; GAO, F.; ZHANG, X.; LIU, Z. *New use for spent coffee ground as an adsorbent for tetracycline removal in water. Chemosphere*, v. 217, p. 163-172. 2019.
10. GIROTTI, F.; LAVAGNOLO, M. C.; PIVATO, A. *Spent Coffee Grounds Alkaline Pre-treatment as Biorefinery Option to Enhance their Anaerobic Digestion Yield. Waste Biomass Valor*, v. 9, p. 2565–2570, 2018.
11. KIM, J.; KIM, H.; LEE, C. *Ulva biomass as a co-substrate for stable anaerobic digestion of spent coffee grounds in continuous mode. Bioresource Technology*, v. 241, p. 1182-1190, 2017.
12. LANE, A. G. Anaerobic digestion of spent coffee grounds. *Biomass*, v. 3, n. 4, p. 247-268, 1983.
13. LUZ, F. C.; CORDINER, S.; MANNI, A.; MULONE, V.; ROCCO, V. *Anaerobic Digestion of Liquid Fraction Coffee Grounds at Laboratory Scale: Evaluation of the Biogas Yield. Energy Procedia*, v.105, p. 1096-1101, 2017.
14. MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. *Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products. Food Bioprocess Technol.*, v. 5, p. 897-903, 2012.
15. NEVES, G. N.; CARNEIRO, T. F.; BERNI, M. Desempenho de reator anaeróbio mesofílico-seco de resíduo alimentar como perspectiva de aproveitamento energético. In: X Congresso sobre geração distribuída e energia no meio rural. Anais do X Congresso sobre geração distribuída e energia no meio rural. São Paulo: USP, 2015.
16. RYNK, R.; VAN DE KAMP, M.; WILLSON, G. B.; SINGLEY, M. E.; RICHARD, T. L.; KOLEGA, J. J.; GOVIN, F. R.; LALIBERTY JR, L.; KAY, D.; MURPHY, D. W.; HOITINK, H. A. J.; BRINTON, W. F. *On-Farm composting handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service: Ithaca/N.Y., 1992. 204 p.
17. SAWATDEENARUNAT, C.; SURENDRA, K. C.; TAKARA, D.; OECHSNER, H.; KHANAL, S. K. *Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Challenges and opportunities. Bioresour. Technol.* v. 178, p. 178-186, 2015.