

### III-348 - AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS ALIMENTARES E DE PODA VEGETAL

**Fernando Fernandes<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestre e Doutor em Engenharia Civil pelo Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT). Professor Associado no Centro de Tecnologia e Urbanismo (CTU) da Universidade Estadual de Londrina (UEL), vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

**Priscila Liane Biesdorf Borth<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestra em Engenharia de Edificações e Saneamento pela UEL. Doutoranda em Engenharia Civil pela UEL.

**Jessica Klarosc Hellenas<sup>(3)</sup>**

Engenheira Ambiental pela UTFPR. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UEL. Mestra e Doutoranda em Engenharia Civil pela UEL.

**Arthur Ribeiro Torrecilhas<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Civil pela Faculdade Pitágoras de Londrina (FPL). Especialista em Auditoria e Perícia Ambiental e Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Candido Mendes (UCAM). Mestre em Engenharia Civil pela UEL.

**Emilia Kiyomi Kuroda<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (EESC/USP). Mestra e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Professora Associada no CTU da UEL, vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rod. Celso Garcia Cid - PR445 Km380 - Perobal - CTU - Londrina/PR - CEP: 86.051-990 - Brasil - Tel: (43) 3371-4455 - e-mail: [fernando@uel.br](mailto:fernando@uel.br)

#### RESUMO

O excesso de resíduos orgânicos gerados, aliado à disposição/tratamento inadequados, tem ocasionado diversos impactos ambientais. Uma das alternativas para o tratamento de resíduos orgânicos é a biodigestão anaeróbia, a qual tem gerado grande interesse devido ao processo gerar o biogás, que pode ser utilizado para fins energéticos. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar os aspectos quali-quantitativos da biodigestão de resíduos alimentares e de poda vegetal (grama), através do ensaio do Potencial Bioquímico de Metano - BMP. Para isso, o ensaio foi desenvolvido em escala de bancada, a fim de avaliar a produção de biogás a partir dos substratos de estudo. O inóculo foi coletado em um reator anaeróbio de esgoto e os resíduos alimentares e de grama foram provenientes do campus da UEL. Os reatores foram mantidos à temperatura de  $36 \pm 1$  °C com agitação diária manual. Os valores de pressão exercida nos manômetros foram medidos e convertidos para volume de biogás acumulado e as análises do teor de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S foram realizadas para avaliar a qualidade do biogás. Com os resultados obtidos, foi possível verificar que o resíduo alimentar apresentou pH ácido (4,37) e o inóculo apresentou pH próximo a neutralidade (6,79). No experimento de BMP, de acordo com os resultados obtidos, a adição de grama não promoveu melhorias no desempenho do processo. A condição de tratamento apenas com resíduo alimentar resultou nas maiores eficiências em relação ao tratamento dos resíduos, com remoções de 46% e 35% para STV e DQO, respectivamente. Além disso, esta condição também atingiu a melhor produção e qualidade do biogás, com 771 NmL de biogás acumulado durante os 63 dias de experimento e teor máximo de CH<sub>4</sub> de 68,3%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Metanização, Resíduos orgânicos, Poda vegetal.

## INTRODUÇÃO

O contínuo crescimento populacional, industrial e também comercial em diversos países nos últimos anos tem levado a um aumento rápido na geração de resíduos sólidos urbanos - RSU (RENOU, 2008). Dentre os RSU gerados, aproximadamente 50% referem-se a resíduos orgânicos que, geralmente, acabam sendo destinados a aterros sanitários (IPEA, 2012). Além da parcela de resíduos orgânicos presentes nos RSU, há também a geração destes nos segmentos agrícola, industrial e do saneamento básico.

Uma vez que a Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS, estabelecida na Lei Federal 12.305/2010, propôs como mudanças nos modelos de gestão e gerenciamento, o não aterramento da fração orgânica e aproveitamento energético dos resíduos, a utilização de alternativas adequadas de tratamento destes é de extrema importância para manutenção da qualidade ambiental.

Entre as alternativas de tratamento de resíduos orgânicos, os processos biológicos têm gerado interesse, principalmente o processo de digestão anaeróbia, pois a matéria orgânica é mineralizada produzindo o biogás, o qual contém elevado teor de metano que pode ser aproveitado energeticamente. Além disso, o efluente da biodigestão pode ser empregado como fertilizante em solos, devido à presença de nitrogênio, fósforo e outros minerais (WOON & LO, 2016).

A utilização da co-digestão, no processo de biodigestão anaeróbia, especialmente com resíduos vegetais, como os resíduos de jardinagem têm sido foco de pesquisas, visto que estes têm potencializado a geração de biogás neste tratamento (MALINOWSKY, 2016; BROW; LI, 2013).

O biogás gerado na biodigestão apresenta em sua composição principalmente, gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Contudo, outros componentes, como vapor d'água, nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ) também estão presentes (COLDEBELLA, 2006; BERGLUND, 2006; DEUBLEIN E STEINHAUSER, 2008; MACHADO, 2011). As proporções de cada componente do biogás e o seu rendimento energético, dependem diretamente da matéria prima digerida e do tipo de digestão utilizado (BERGLUND, 2006).

Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho é analisar a produção de biogás de resíduos alimentares e grama, por meio do ensaio do Potencial Bioquímico de Metano – BMP, em escala de bancada.

## METODOLOGIA

### COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS

Como inóculo, foi utilizado lodo de um Reator Anaeróbio de Leito Fluidificado - RALF, coletado em uma estação de tratamento de esgoto na cidade de Londrina – PR. Após a coleta, este permaneceu em repouso em meio anaeróbio, para consumo da matéria orgânica presente.

O resíduo alimentar - RA utilizado como um dos substratos foi proveniente do restaurante universitário da Universidade Estadual de Londrina - UEL, o qual era composto por sobras de arroz, feijão, peixe, frango, pirão, beterraba e acelga. Este resíduo foi triturado em liquidificador doméstico para redução do tamanho das partículas. Após Trituração, o RA foi conservado a -18°C até a sua utilização.

Como co-substrato, foi utilizado resíduo de grama – RG coletado no campus da UEL e deixado por cinco dias em repouso para secagem e posteriormente triturado em liquidificador doméstico para redução do tamanho das partículas, obtendo-se partículas de aproximadamente 2 mm.

### DESCRÍÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO

O desenvolvimento do experimento do BMP foi baseado e adaptado de Owen et al. (1978) e, para tal, foram utilizados frascos de borossilicato como reatores em escala de bancada, com tampas de nylon tecnil adaptadas com duas saídas. Em uma das saídas foi acoplado um manômetro, o qual possuía escala de 0,05 kgf  $\text{cm}^{-2}$  e

valor máximo de medição de 3 kgf cm<sup>-2</sup>. A outra saída existente na tampa foi utilizada para expurga do biogás produzido. Os volumes total e útil dos reatores eram de 250 mL e 120 mL, respectivamente.

Para avaliação do potencial de geração de biogás deste estudo, as misturas dos substratos e a proporção inóculo:substrato - I:S utilizadas, foram realizadas em triplicata e são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1: Descrição das condições estudadas no ensaio BMP.**

Tratamento	Condição	
	I:S	Mistura
-	2:0	INÓCULO
A	2:1	INÓCULO + RA
B	2:1	INÓCULO + RA + RG

Na condição do Tratamento B, foi substituída uma parcela referente a 20% dos Sólidos Totais Voláteis – STV do RA pelo resíduo de grama, visando manter a mesma carga orgânica da condição A. Após mistura do inóculo e substratos nos volumes que garantissem a proporção de 2:1 em relação aos STV, foi adicionada uma solução tampão de carbonato de sódio (2000 mg L<sup>-1</sup> na mistura) para garantir que o pH do meio não atingisse valores abaixo da faixa ideal durante o processo de digestão anaeróbia.

Os reatores foram incubados em estufa, com temperatura controlada de 36 ± 1 °C, agitação diária manual e foram mantidos até que a produção de gás gerada por dia fosse menor que 1% da produção total.

Durante o experimento, foram medidos os valores de pressão exercida nos manômetros, e estes foram convertidos para volume de biogás gerado, por meio de correções e cálculos de acordo com as Condições Normais de Temperatura e Pressão – CNTP. Também foram realizadas análises do teor de metano (CH<sub>4</sub>), gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), com o analisador de gases portátil da marca Dräger modelo X-am® 7000.

## PARÂMETROS DE ANÁLISE

Para caracterização das amostras, foram realizadas as análises físico-químicas de pH, alcalinidade, série de sólidos (sólidos totais – ST, sólidos totais voláteis – STV, sólidos totais fixos – STF) e Demanda Química de Oxigênio – DQO. Estas análises foram executadas de acordo com procedimentos estabelecidos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Na Tabela 2 é apresentada a caracterização físico-química dos resíduos utilizados no experimento.

**Tabela 2: Caracterização físico-química das amostras utilizadas.**

Parâmetro	Unidade	Inóculo	RA	Unidade	RG
pH	-	6,79	4,37	-	-
DQO	mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	43.598	144.060	-	-
ST	mg L <sup>-1</sup>	55.750	92.700	%	85,7
STV	mg L <sup>-1</sup>	29.200	87.050	%	75,9

O valor de pH de 6,79 do inóculo está de acordo com a neutralidade recomendada por Silva (2014) visando otimização da partida de reatores anaeróbios. O valor de pH apresentado para o RA de 4,37 está pertinente com estudos de diversos autores, que indicam valores entre 4,10 e 5,98 para os resíduos alimentares (REIS, 2012; MALINOWSKY, 2016; GUERI, 2017). Nota-se o baixo valor de pH do RA, sendo assim, torna-se importante a adição de inóculo que forneça alcalinidade e ainda, verificou-se a necessidade da adição de um agente tampão, para que o pH durante o processo anaeróbio se mantenha dentro de uma faixa aceitável.

O resíduo alimentar utilizado para o ensaio apresentou valor de DQO de  $144,06 \text{ gO}_2 \text{ L}^{-1}$ , o qual se enquadra com os valores obtidos por outros autores (GUERI, 2017; SANTOS, 2017) e em relação a DQO do inóculo, o valor de  $44 \text{ gO}_2 \text{ L}^{-1}$  está coerente com os valores entre 34 a  $46 \text{ gO}_2 \text{ L}^{-1}$  obtidos por Malinowsky (2016) e Santos (2017).

Os valores relativos aos sólidos do RA indicam alto potencial de biodegradação deste substrato, uma vez que segundo Güelfo et al. (2011), os resíduos cuja relação STV/ST for acima de 0,7 podem ser considerados de fácil biodegradabilidade. Da mesma forma apresenta-se o RG, com elevado percentual de STV, indicando que grande parte da amostra compreende a parcela de material orgânico (BERTOZZO, 2013).

Na Tabela 3 é apresentada a caracterização das condições estudadas, no início e ao final do experimento.

**Tabela 3: Caracterização físico-química das condições no início e ao final do experimento.**

Parâmetro	pH	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	DQO (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	ST (mg L <sup>-1</sup> )	STV (mg L <sup>-1</sup> )
Condição	-				
<b>INÓCULO</b>	Inicial	9,01	2.303	43.598	55.750
	Final	7,4	3.826	31.768	38.610
<b>A</b>	Inicial	8,55	2.258	53.278	48.402
	Final	7,42	4.301	34.498	36.610
<b>B</b>	Inicial	8,58	2.492	53.076	55.615
	Final	7,23	4.142	42.082	46.997

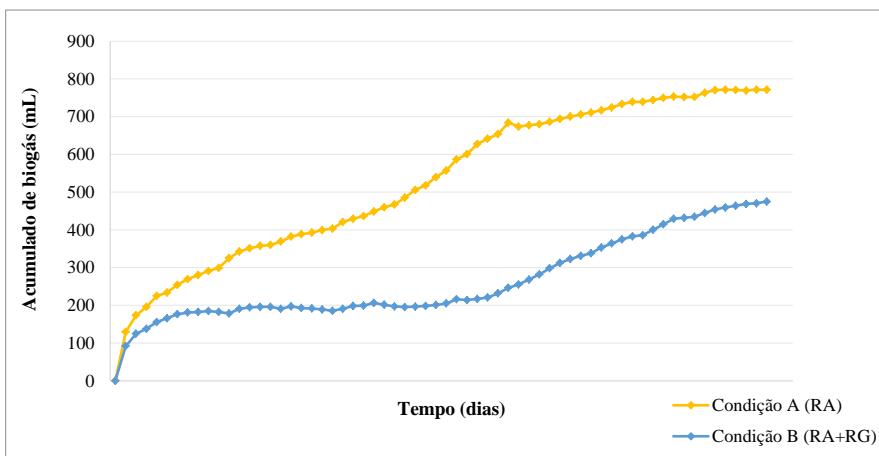
Após a adição da solução tampão de carbonato de sódio nas amostras, nota-se que os valores iniciais de alcalinidade situaram-se dentro da faixa indicada como ideal para o tratamento anaeróbio, a qual é reportada como 1.000 a 5.000 mg L<sup>-1</sup> (METCALF; EDDY, 2003). Com base nos resultados apresentados, foi identificado aumento da alcalinidade após o tratamento anaeróbio. Silva e Leite (2015) explicam que este aumento pode ser consequência do processo de amonificação.

Em relação ao pH das amostras, Chernicharo (2016) cita que valores de pH entre 6,0 e 8,0 proporcionam estabilidade ao processo. Contudo os valores iniciais resultaram acima do recomendado para este tipo de tratamento. Ao final do processo, verifica-se que nas três condições o pH decresceu, todavia os valores se mantiveram na faixa de 7. Conforme explica Barcelos (2009), tal fato indica que embora tenha ocorrido a degradação, com provável formação de ácidos, o tampão mostrou-se eficiente para manter o pH próximo da neutralidade, ideal aos organismos metanogênicos.

Com o intuito de obter dados referentes a eficiência de remoção da carga orgânica, foram verificadas as reduções dos sólidos e da DQO de cada uma das condições. Em relação aos ST e STV, os sistemas apresentaram redução das concentrações do início ao final do ensaio BMP. A condição que demonstrou melhor eficiência de remoção tanto para STV quanto para DQO foi a A, atingindo os valores aproximados de 46% e 35%, respectivamente. Para a condição B, a eficiência de remoção máxima atingida foi de 32% para STV e 21% para DQO.

### AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DO BIOGÁS GERADO

Na Figura 1 estão apresentados os resultados referentes à produção acumulada de biogás durante os 63 dias de experimento, para as duas condições de estudo, após subtração da geração média de biogás do inóculo.



**Figura 1: Produção acumulada de biogás para as duas condições de estudo.**

Conforme os resultados obtidos e apresentados na Figura 1, nota-se que ambas as condições seguiram um comportamento similar na produção de biogás, contudo a condição apenas com RA (Condição A) resultou em maior produção acumulada durante todo o experimento.

Comparando-se os dados de produção acumulada com outros trabalhos da literatura, percebe-se a grande variação de resultados obtidos. Por exemplo, Alves (2008) e Schirmer et al. (2014) obtiveram resultados de 225,9 NmL e 1816 NmL, respectivamente, em seus ensaios de potencial bioquímico de geração de metano a partir de resíduos orgânicos de aterros sanitários.

A adição de RG ao tratamento anaeróbio de RA não promoveu melhorias no desempenho do processo, visto que as produções foram de aproximadamente 771 NmL para o tratamento apenas com RA (Condição A) e 475 NmL para o tratamento com RA e RG (Condição B). Estes resultados diferem de Magalhães (2018), o qual obteve maior produção com a adição de poda vegetal ao tratamento anaeróbio de resíduo alimentar. Com adição de 10% de poda em relação ao RA, atingiu-se produção acumulada de 1273 NmL e 63% de CH<sub>4</sub>.

Na Tabela 4 são apresentados os teores de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S referentes ao 56º dia de experimento, no qual houve melhor qualidade do biogás em relação à produção de metano.

**Tabela 4: Teores dos gases correspondentes ao dia de maior percentual de metano.**

Condição	[CH <sub>4</sub> ] (%)	[CO <sub>2</sub> ] (%)	[H <sub>2</sub> S] (ppm)
A	68,3	18	500
B	61,5	19,5	667

Em relação ao teor de CH<sub>4</sub>, ambas as condições resultaram em porcentagens dentro da faixa encontrada por outros autores para o tratamento anaeróbio de resíduo alimentar, que se situa entre 50 a 80% (JUCÁ et al., 2005; ALVES, 2008; GUERI, 2017). A Condição A, resultou em maior teor de CH<sub>4</sub> (68,3%), enquanto que a Condição B atingiu de 61,5% de CH<sub>4</sub>.

## CONCLUSÕES

As características físico-químicas do RA demonstraram sua acidez, com pH de 4,37, e sua elevada concentração de matéria orgânica, cuja relação STV/ST foi de 0,94, indicando elevado potencial de biodegradabilidade deste resíduo.

Ao avaliar a produção específica de metano de resíduo alimentar e de poda vegetal, a partir do Ensaio BMP, em escala de bancada, variando-se as misturas dos substratos, observou-se que a condição A resultou em maior produção acumulada de biogás (771 NmL) e maior teor de CH<sub>4</sub> (68,3%). Além disso, a mesma condição demonstrou melhor eficiência de remoção para STV e DQO, com percentuais de 46% e 35%, respectivamente.

Os volumes acumulados e teores de metano obtidos neste estudo, para ambas as condições, estão dentro da faixa geralmente obtida em experimentos de biodigestão de resíduos orgânicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, I. R. F. S. Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. 2008. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Recife, 2008.
2. APHA; AWWA; WEF. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. 22 ed. Washington, DC: APHA, 2012.
3. BARCELOS, B.R. Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos. 2009. 75 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 2009.
4. BROWN, D. e LI, Y. Solid state anaerobic co-digestion of yard waste and food waste for biogas production. *Bioresource Technology*. 127, 275–280. 2013.
5. BERGLUND, M. Biogas production from a systems analytical perspective. Doctoral Dissertation, Environmental and Energy System Studies, Lund. 2006 University, Lund.
6. BERTOZZO, F. Co-digestão anaeróbia de dejetos de bovinos e dois tipos de glicerina bruta. 2013. 92 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Botucatu, 2013.
7. BRASIL. Lei Federal nº 12.305 de 02 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, 03 de agosto de 2010, p. 3.
8. BROWN, D. e LI, Y. Solid state anaerobic co-digestion of yard waste and food waste for biogas production. *Bioresource Technology*. 127, 275–280. 2013.
9. COLDEBELLA, A. Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais. 2006. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.
10. DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. Biogas from waste and renewable resources: An introduction. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
11. GÜELFO, F.L.A.; ÁLVAREZ, C.; SALES, D.; GARCÍA, L.I. Determination of critical and optimum conditions for biomethanization of OFMSW in a semi-continuous stirred tank reactor. *Journal Chemical Engineering*, v.171, p. 418– 424, 2011.
12. GUERI, M. V. D. Avaliação do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares em reatores batelada e semi-contínuo. 2017. 82 p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Cascavel, 2017.
13. IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. (2012). Plano nacional de resíduos sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores (Comunicado IPEA, Vol. 145). Brasília: IPEA. Relatório de Pesquisa.
14. JUCÁ, J.F.T.; MACIEL, F.J.; MARIANO, M.O.H.; BRITO, A.R. Relatório Técnico do Estudo de Aproveitamento Energético do Biogás no Aterro da Muribeca. Universidade Federal de Pernambuco - Grupo de Resíduos Sólidos, Recife – PE, 2005.
15. MACHADO, L. L. N. Aspectos técnicos relacionados à geração de energia elétrica a partir do lodo de esgoto. 2011. 109f. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 2011.
16. MAGALHÃES, G. V. V. Avaliação da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos: ensaios de potencial bioquímico de metano (BMP) e projeto piloto de um biodigestor em escala real. 2018. 131 p. Tese (doutorado em Engenharia civil). Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza, 2018.
17. MALINOWSKY, C. Tratamento de resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). 2016. 121 p. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2016.
18. OWEN, W. F., STUCKEY D. C., HEALV JR., J. B., YOUNG, L. Y., MCCARTY, P. L. Bioassay for monitoring Biochemical Methane Potential and anaerobic toxicity. *Water Research*, n. 13, p. 485-492, 1979.
19. RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.;POULAIN, S.; DIRASSOUIYAN, F.;MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*. V. 150 p. 468–493. 2008.

20. SANTOS, T. N. Biodegradação anaeróbia de palma forrageira, vinhaça e resíduos alimentares para produção de biogás. 2017. 107 p. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares - Fontes Renováveis de Energia). Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Recife, 2017.
21. SCHIRMER, W. N.; JUCÁ, J. F. T.; SCHULER, A. R. P.; HOLANDA, S.; JESUS, L. L. Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) Landfill: evaluation in refuse of different ages. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v.31, n.02, p.373-384, April - June, 2014.
22. SILVA, R. B.; LEITE, V. D. Tratamento conjugado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico por processo anaeróbio seguido de aeróbio. *Revista DAE*, maio/agosto, 2015.
23. WOON, K. S.; LO, I. M. C. A proposed framework of food waste collection and recycling for renewable biogas fuel production in Honk Kong. *Waste Management*, v. 47, p. 3-10, 2016.