

X-031 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA QUEIMA DE BIOGÁS PROVENIENTE DO TRATAMENTO DE ESGOTO UTILIZANDO UM QUEIMADOR ENCLAUSURADO

Luiz Gustavo Wagner⁽¹⁾

Tecnólogo em Construção Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Especialista em Energias Renováveis pela UTFPR. Técnico da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

Giovana Fagundes Kaminski

Graduanda do curso de Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Estagiária na Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

Gustavo Rafael Collere Possetti

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre e doutor em Ciências pela UTFPR. Gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Sanepar. Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV).

André Luiz de Faria

Licenciado em Química, Física e Matemática pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Arapongas. Químico da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar)

Endereço⁽¹⁾: Rua Eng. Antonio Batista Ribas, 151 - Tarumã – Curitiba – PR - CEP: 82800-130 - Brasil - Tel: (41) 3777-7285 - e-mail: luizgw@sanepar.com.br

RESUMO

A maioria das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) que utilizam reatores anaeróbios adota como medida de tratamento da fase gasosa a simples queima. Tradicionalmente, o biogás é coletado e enviado para um queimador aberto, onde há uma vela de ignição para promover a combustão. A chama resultante fica exposta às condições climáticas (ventos, chuvas) fazendo com que se apague por muitas vezes. Além disso, a temperatura e o tempo de residência no processo de combustão são de difícil mensuração e, consequentemente, a determinação da eficiência de conversão do biogás não é trivial. Sendo assim, o presente trabalho vem relatar um estudo relacionado à eficiência de destruição do metano, principal composto do biogás, em um queimador enclausurado instalado em uma ETE que utiliza reatores anaeróbios. Os resultados mostraram que a eficiência desse tipo de queimador pode ser superior a 99%. No entanto, sua eficiência está condicionada a regularização da vazão do biogás que é conduzido ao queimador, pois a eficiência variou ao longo do tempo como resultado da operação em condições distintas de vazão. Isso ocorreu devido ao comportamento variável de produção de biogás na ETE avaliada, a qual não foi equalizada.

PALAVRAS-CHAVE: Queimador enclausurado, Biogás, Combustão

INTRODUÇÃO

O biogás oriundo do tratamento de esgotos domésticos é uma mistura gasosa composta majoritariamente por metano (CH_4), um gás inflamável, inodoro, incolor, possuindo Temperatura de Auto Ignição (TAI) de 540 °C e com poder calorífico que pode variar entre 5.000 e 7.000 kcal/Nm³, dependendo do teor de metano em sua composição. Além disso, o biogás é também composto, em menores concentrações, por dióxido de carbono (CO_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S), nitrogênio (N_2), monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H_2), podendo conter traços de oxigênio (O_2) [1-2].

O metano é um gás indutor do efeito estufa e seu potencial de aquecimento global é 28 vezes maior do que o atribuído ao dióxido de carbono em um horizonte de 100 anos [3].

O gás sulfeto de hidrogênio (H_2S), por sua vez, é perceptível aos humanos quando presente em concentrações acima de 0,0001 ppm, possuindo cheiro desagradável quando sua concentração é superior à 0,5 ppm, além de ser prejudicial à saúde humana em níveis mais elevados [4].

No estado do Paraná, a legislação determina que o biogás gerado em reatores de digestão anaeróbia deve ser aproveitado e na impossibilidade de seu aproveitamento será necessária sua queima, por meio de instalação e operação contínua de queimadores para conversão do metano [5].

Os sistemas para queima de biogás em estações de tratamento de esgoto (ETE) são compostos, em sua grande maioria, por queimadores abertos, comumente chamados de *flares*. Esses queimadores não possuem câmara de combustão, ou seja, sua chama fica exposta à atmosfera. Pelo fato da chama ser aberta, sua intensidade é baixa e o ar ambiente a resfria rapidamente. Assim, a eficiência de queima desses equipamentos é de difícil determinação.

Uma alternativa à queima em *flares* abertos é a utilização de queimadores enclausurados. Os queimadores enclausurados promovem a queima do gás no interior de uma câmara de combustão, sendo dimensionada de modo que a chama fique protegida contra intempéries. No entanto, a utilização desse tipo de equipamento ainda é incipiente em plantas de tratamento de esgoto no Brasil. Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho é avaliar a eficiência de destruição de biogás em um queimador enclausurado instalado em uma ETE de médio porte dotada de reatores anaeróbios alimentados com esgoto doméstico.

METODOLOGIA

Instalou-se um queimador enclausurado em uma ETE composta por 6 reatores anaeróbios tipo UASB, cada um com capacidade de tratamento de 70 L/s, sendo que o queimador capta e queima o biogás produzido por 3 reatores. O material de fabricação adotado foi o aço inoxidável e suas dimensões foram de 3 metros de altura e 280 mm de diâmetro em sua seção transversal interna. Uma proteção tipo chapéu chinês foi instalada na parte superior do queimador. Em sua base foram concebidas aberturas reguláveis para permitir a entrada de ar, onde também foi acoplado um centelhador, alimentado por energia solar, que efetuou a ignição do biogás (Figura 1).

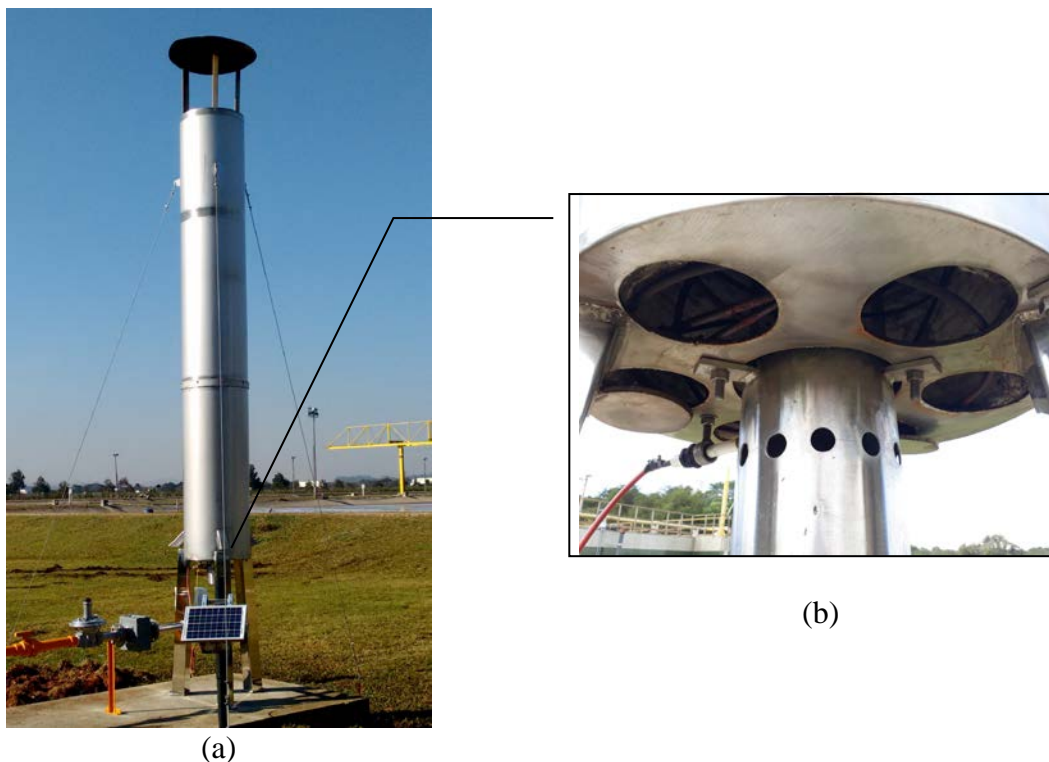


Figura 1: (a): Foto do queimador enclausurado; (b): Detalhe das aberturas de entrada de ar na base do queimador

A captação e condução do biogás foram efetuadas com auxílio de tubulações de PVC, sendo que o diâmetro na interface com as câmaras de gás dos reatores UASB foi de 150 mm, sendo, posteriormente, reduzidas para

50 mm de diâmetro antes de chegar ao queimador. O guiamento do biogás ocorreu de maneira passiva, sem auxílio de compressores. Uma válvula corta chamas e uma válvula reguladora de pressão foram instaladas na linha de biogás, posicionadas próximas ao queimador.

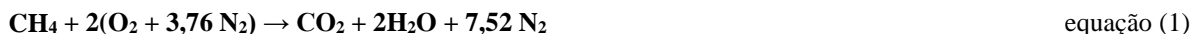
Os seguintes parâmetros foram mensurados: vazão, composição, temperatura e pressão na linha de biogás antes de chegar ao queimador e a temperatura de queima no interior da câmara de combustão.

A determinação da eficiência de destruição do biogás foram realizadas de duas formas, sempre assumindo as condições de admissão do biogás: (a) estimativas de destruição de metano por meio das medições de temperatura e de tempo de residência na câmara de combustão do queimador; e, (b) análises laboratoriais dos gases de exaustão do queimador.

ESTIMATIVAS DE DESTRUIÇÃO DE METANO A PARTIR DA TEMPERATURA E TEMPO DE RESIDÊNCIA NA CÂMARA DE COMBUSTÃO DO QUEIMADOR

Inicialmente, realizou-se uma estimativa de destruição do metano a partir de dados de tempo de residência e temperatura da substância no interior da câmara de combustão do queimador enclausurado.

Para tanto, modelou-se o processo de oxidação do metano com ar atmosférico da seguinte forma:



Nessa modelagem, infere-se que a proporção estequiométrica de volume de ar/metano é de 9,52:1.

Na vazão volumétrica de entrada foram considerados a concentração média de metano no biogás e o volume de ar com um pequeno excesso, por recomendações do fabricante, sendo a proporção de 10:1. No entanto, não havia dispositivos para controlar ou mensurar o volume de ar que entrava no queimador.

A partir disso, os volumes foram corrigidos à temperatura atingida pela queima dos gases obtendo, dessa forma, a velocidade do fluxo e, consequentemente, o tempo de residência na câmara de combustão.

A eficiência foi estimada a partir de uma comparação com os parâmetros expostos na Tabela 1. Quanto maiores são as taxas de eficiência de destruição desejadas, maiores devem ser a temperatura de queima e o tempo de residência dos gases na câmara de combustão.

Tabela 1: Taxa de destruição térmica do metano [2]

Eficiência de destruição (%)	Graus acima da TAI (°C)	Temperatura para o CH₄ (°C)	Tempo de residência (s)
95	150	690	0,5
98	205	745	0,5
99	250	790	0,75
99,9	290	830	1
99,99	345	885	2

ANÁLISES LABORATORIAIS DOS GASES DE COMBUSTÃO NA SAÍDA DO QUEIMADOR

Em uma segunda etapa, realizaram-se amostragens e análises laboratoriais dos gases resultantes da combustão do biogás no queimador enclausurado. As análises foram executadas em duplicata, sendo que as amostras foram coletadas em um mesmo dia, em horários diferentes, sendo a primeira no período da manhã, e a segunda, no período da tarde.

As análises laboratoriais abrangeram a determinação da concentração dos seguintes compostos: metano (CH₄), outros hidrocarbonetos (C_xH_y), sulfeto de hidrogênio (H₂S), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), oxigênio (O₂), nitrogênio (N₂), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e ácido sulfúrico

(H₂SO₄). Além disso, realizaram-se medições de velocidade de fluxo e vazão volumétrica dos gases de combustão. As amostragens e análises seguiram os procedimentos preconizados pela *U.S. Environmental Protection Agency. Environmental Regulations and Technology* [6] e pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) [7].

A eficiência de destruição de metano foi determinada a partir da comparação entre a vazão mássica de entrada e saída do queimador e sua quantificação foi obtida por meio de técnica de cromatografia gasosa com detector FID.

A eficiência de destruição do sulfeto de hidrogênio também foi determinada a partir dos resultados obtidos na composição do biogás antes e após o processo de combustão e sua quantificação foi obtida pela técnica de titulação iodométrica.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O biogás gerado na ETE avaliada possuiu composição média de $(80,49 \pm 2,47)\%$ v/v de metano, $(7,22 \pm 2,47)\%$ v/v de dióxido de carbono, $(0,76 \pm 0,41)\%$ v/v de oxigênio e $(2423,00 \pm 422,00)$ ppm de sulfeto de hidrogênio. A pressão média na linha de biogás (sobrepressão + pressão atmosférica) foi de $(920,50 \pm 1,28)$ mbar.

Verificou-se que há uma correlação entre a vazão do biogás e a temperatura atingida no interior da câmara de combustão, conforme ilustrado nas Figuras 2 e 3.

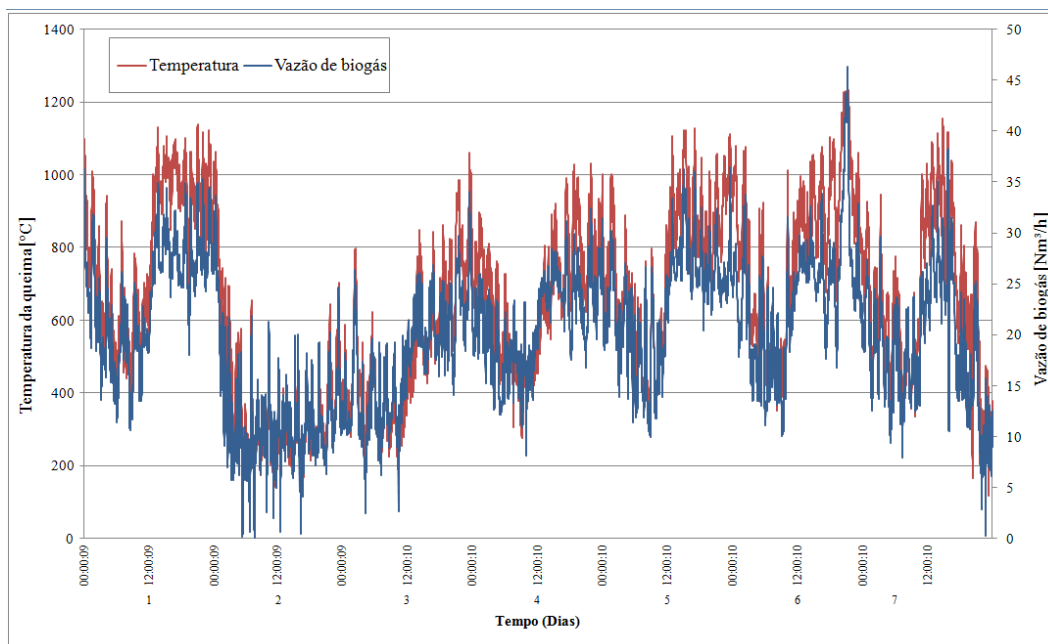


Figura 2: Temperatura de queima e vazão de biogás ao longo do tempo

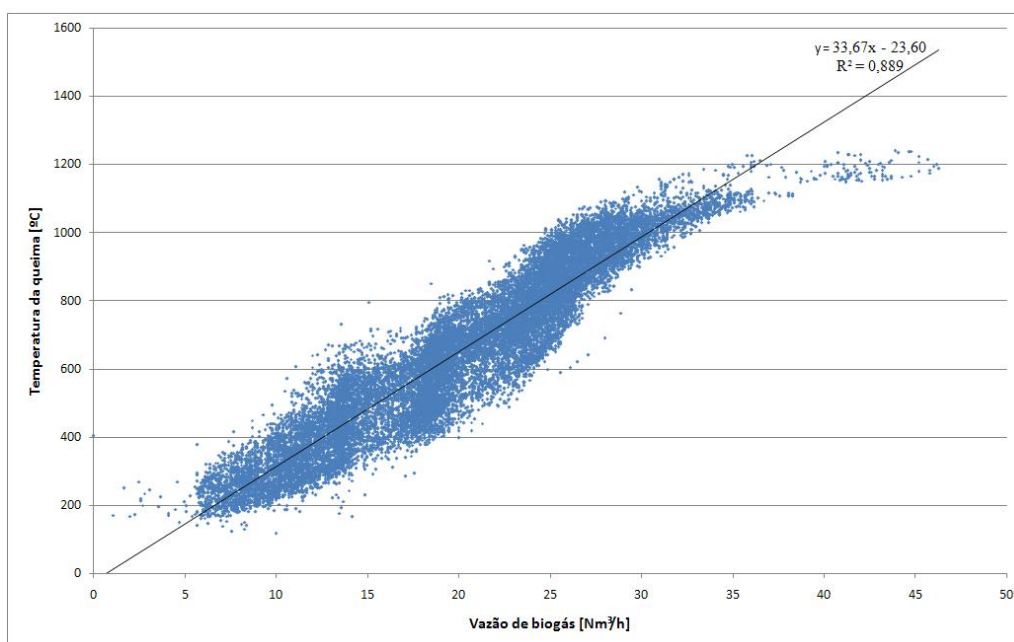


Figura 3: Correlação entre a temperatura de queima e vazão de biogás

A vazão de biogás na ETE avaliada seguiu um comportamento periódico e variável, sendo o ciclo de aproximadamente 1 dia, onde as mínimas ocorrem tipicamente entre as 8 e 10 horas e as máximas entre as 15 e 17 horas. A vazão média no período avaliado foi de $(20,09 \pm 6,80)$ Nm³/h, sendo que a menor vazão registrada foi de 1,1 Nm³/h e a maior de 46,3 Nm³/h, enquanto que a temperatura média de combustão foi de $(653,00 \pm 242,73)$ °C. A temperatura mínima registrada foi 116,80 °C e a máxima de 1.240,60 °C.

A associação dos valores obtidos de temperatura e tempo de residência permitiu estimar a eficiência de destruição do metano, sendo classificada em faixas de acordo com o tempo de operação e vazão média de biogás, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Eficiência de destruição de metano

Faixas de Eficiência	Tempo de operação (%)	Vazão média de biogás (Nm ³ /h)	Temperatura média de queima (°C)	Tempo de residência médio (s)
< 95%	55,02	15,27	467,65	4,56
95 - 98 %	7,22	21,99	715,80	1,94
98 - 99 %	5,75	24,80	800,59	1,65
99 - 99,9 %	7,77	27,57	909,22	1,35
99,9 - 99,99%	24,24	26,96	937,85	1,29
99,99 %	0,00	-	-	-

A partir da Tabela 2 foi possível verificar que eficiência de destruição do metano variou ao longo do tempo de operação, sendo menor que 95% na maior parte do tempo. Isso se deve ao fato da produção de biogás ser variável, fazendo com que o queimador trabalhe com vazões muito distintas ao longo do tempo. Por outro lado, quando o queimador operou com vazão acima de 25 Nm³/h, a eficiência verificada foi superior a 99%. Isso ocorreu em 32% do tempo total de operação do queimador.

Sobre as análises dos gases de combustão do queimador, pode-se afirmar que as temperaturas mensuradas foram de 773 °C e 762 °C, respectivamente na 1ª e 2ª amostragem.

A concentração e a taxa de emissão dos compostos do gás resultante da combustão no queimador estão expostos na Tabela 3. As Tabelas 4 e 5, por sua vez, apresentam os resultados de eficiência de destruição de metano e sulfeto de hidrogênio, respectivamente.

Tabela 3: Concentrações e taxas de emissão dos parâmetros analisados no gás de combustão do queimador enclausurado

Amostragem	Parâmetro	Concentração gás de combustão		Taxa de emissão	
1 ^a	Metano (CH ₄)	423	mg/Nm ³	0,261	kg/h
	Hidrocarbonetos não queimados (HDNQ)	427	mg/Nm ³	0,264	kg/h
	Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	3,31	mg/Nm ³	2,04	g/h
	Dióxido de Carbono (CO ₂)	66827	mg/Nm ³	-	
	Monóxido de Carbono (CO)	239	mg/Nm ³	0,147	kg/h
	Oxigênio (O ₂)	15,9	% v/v	-	
	Nitrogênio (N ₂)	80,7	% v/v	-	
	Óxidos de Enxofre (SO _x)	406	mg/Nm ³	0,25	kg/h
	Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	35,7	mg/Nm ³	0,022	kg/h
	Névoa Sulfúrica (H ₂ SO ₄)	16	mg/Nm ³	0,01	kg/h
2 ^a	Metano (CH ₄)	216	mg/Nm ³	0,134	kg/h
	Hidrocarbonetos não queimados (HDNQ)	224	mg/Nm ³	0,139	kg/h
	Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	7,06	mg/Nm ³	4,38	g/h
	Dióxido de Carbono (CO ₂)	115965	mg/Nm ³	-	
	Monóxido de Carbono (CO)	398	mg/Nm ³	0,247	kg/h
	Oxigênio (O ₂)	10,5	% v/v	-	
	Nitrogênio (N ₂)	83,6	% v/v	-	
	Óxidos de Enxofre (SO _x)	457	mg/Nm ³	0,284	kg/h
	Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	54,8	mg/Nm ³	0,034	kg/h
	Névoa Sulfúrica (H ₂ SO ₄)	12,4	mg/Nm ³	0,008	kg/h

Tabela 4: Eficiência de destruição de metano mediante análise dos gases de combustão

Amostragem	Metano na entrada (kg/h)	Metano na saída (kg/h)	Eficiência de destruição (%)
1 ^a	13,7	0,261	98,1
2 ^a	16,8	0,134	99,2

Tabela 5: Eficiência de destruição de sulfeto de hidrogênio mediante análise dos gases de combustão

Amostragem	H ₂ S na entrada (g/h)	H ₂ S na saída (g/h)	Eficiência de destruição (%)
1 ^a	107,18	2,04	98,09
2 ^a	149,41	4,38	97,06

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

Há oscilações na vazão de biogás e na temperatura no interior da câmara de combustão do queimador enclausurado. Isso acontece devido ao comportamento variável de produção de biogás na ETE avaliada.

Essas oscilações podem ser prejudiciais à eficiência do queimador, uma vez que em mais de 50% do tempo do período analisado as condições para destruição do metano não foram atingidas.

As melhores condições de queima foram verificadas durante os períodos em que a vazão média variou entre 25 Nm³/h e 30 Nm³/h, sendo a eficiência de destruição do metano nesse caso superior a 99%.

Para garantir a eficiência do queimador, uma medida que regule e mantenha a vazão constante é necessária. Sugere-se, portanto, a adoção de um gasômetro que permita o armazenamento do biogás em períodos em que a produção na ETE é baixa e envie ao queimador somente quando volume for suficiente para reunir as condições de queima eficiente.

De modo geral, os ensaios realizados comprovaram que o queimador enclausurado pode destruir o metano e o sulfeto de hidrogênio presentes no biogás com eficiência superior 97%, mesmo sem a regularização de vazão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LOBATO, L.C.S. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico. Belo Horizonte, 2011. Dissertação de doutorado-Escola de Engenharia-Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.
2. LEWANDOWSKI, D.A. Design of thermal oxidation systems for volatile organic compounds. 1º ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999. p.24-27, 2000.
3. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pg.
4. PARK, K., LEE, H., PHELAN, S., LIYANAARACHCHI, S., MARLENI, N., NAVARATNA, D., JEGATHEESAM, V., SHU, L. Mitigation Strategies of Hydrogen Sulphide Emission in Sewer Networks. International Biodeterioration & Biodegradation. v.95, n.A, p.251-252, 2014.
5. PARANÁ – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA. Resolução nº 16, de 26 de março de 2014. art. 58. Diário Oficial do Estado do Paraná. Poder executivo, Curitiba, 15 abr. 2014.
6. EPA – U. S. Environmental Protection Agency. Environmental Regulations and Technology – Method 18: Measurement of gaseous organic compound emissions by gas chromatography. US EPA, 2000.
7. CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação da velocidade e vazão dos gases: método de ensaio. Norma Técnica L9.222. p.1-7, São Paulo, mai. 1992.
8. EPA – U.S. Environmental Protection Agency. Flare Efficiency Study, Cincinnati, OH. Julho, 1983.