

# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

## **COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS PROVENIENTE DA DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM VARIADAS DIMENSÕES EM BIORREATORES**

**Ana Cristina de Oliveira Santos Pereira<sup>(1)</sup>; Geraldo Lúcio Tiago Filho<sup>(2)</sup>; Bárbara Karoline  
Flauzino<sup>(3)</sup>; Eruin Martuschelli Ribeiro<sup>(4)</sup>; Reinaldo Corrêa Cardoso Júnior<sup>(5)</sup>; Afonso Henriques  
Moreira Santos<sup>(6)</sup>; José Alfredo Ramos Valverde<sup>(7)</sup>,**

<sup>(1)</sup>Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Instituto de Recursos Naturais; Universidade Federal de Itajubá; Itajubá, Minas Gerais; anacristinah\_mdf@hotmail.com; <sup>(2)</sup>Doutor em Engenharia Civil, Professor Orientador; Instituto de Recursos Naturais; Universidade Federal de Itajubá; Itajubá, Minas Gerais; tiago@unifei.com.br; <sup>(3)</sup>Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos; iX Estudos e Projetos; Itajubá, Minas Gerais; barbara@ixconsult.com.br; <sup>(4)</sup>Doutorando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica; Institutos de Sistemas Elétricos e Energia; Universidade Federal de Itajubá; Itajubá, Minas Gerais; eruin.ribeiro@gmail.com; <sup>(5)</sup>Analista de Meio Ambiente; iX Estudos e Projetos; Itajubá, Minas Gerais; reinaldo.junior@ixconsult.com.br; <sup>(6)</sup>Doutor em Engenharia Elétrica; Diretor; iX Estudos e Projetos; Itajubá, Minas Gerais; afonsohms@gmail.com. <sup>(7)</sup>Biólogo; Gerente de Projetos P&D; Endesa Geração; alfredo.valverde@enel.com;

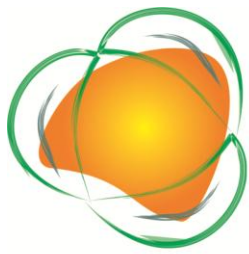
**EIXO TEMÁTICO:** Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Líquidos

**RESUMO** – O biogás resultante da degradação anaeróbia de resíduos é composto principalmente por metano e dióxido de carbono. A quantidade e qualidade de biogás gerado são influenciadas pelo pH, presença de inóculo, fração orgânica, proporção C:N, temperatura, dimensão da partícula e grau de compactação dos resíduos. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi a comparação da composição do biogás, proveniente de biorreatores com resíduos sólidos urbanos de dimensões variadas, em relação as frações de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>). Observou-se a presença de metano no biogás produzido nos biorreatores, variando entre 15 e 35%, sendo que o biorreator com resíduos de menor dimensão apresentou maior porcentagem de metano, indicando a influência da dimensão da partícula na qualidade do biogás.

**Palavras-chave:** Biogás. Biorreator. Dimensão de partícula. Digestão anaerobia.

**ABSTRACT**– The biogas resulting from the anaerobic degradation of waste is composed of methane and carbon dioxide. It can be influenced for pH, presence of inoculum, organic fraction, the proportion C: N, temperature, particle size and degree of compaction. The objective of this study was to compare the biogas composition from bioreactors with organic residues of different sizes in relation to their methane fractions (CH<sub>4</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and oxygen (O<sub>2</sub>). There was the presence of methane in the biogas produced in the three bioreactors, ranging from 15 to 35%, and the bioreactor with small residues showed the highest percentage of methane, showing, for the study, the interference of particle size in quality of biogas.

**Keywords:** Biogas. Bioreactor. Particle size. Anaerobic digestion.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

## **Introdução**

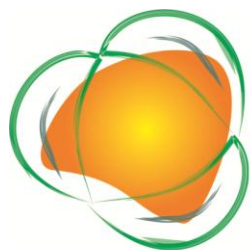
A urbanização crescente traz um aumento considerável da produção de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo necessária a criação de alternativas que minimizem os impactos do descarte desse material no ambiente. Segundo Silva (2013), a destinação final ambientalmente adequada dos RSU, no contexto brasileiro, é a disposição em aterros sanitários. Nesses locais, a degradação dos resíduos ocorre por meio de um processo anaeróbio, ou seja, na ausência de oxigênio, e origina uma mistura gasosa denominada biogás (GÜLZOW, 2010). Segundo Boscov (2008), o biogás é formado, basicamente, por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de outros gases, tais como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis. Dependendo da eficiência do processo de decomposição, o biogás pode conter entre 40% e 80% de metano.

Pesquisas envolvendo aterros em escala real apresentam custo elevado, grande número de variáveis envolvidas no processo, além da dinâmica de operação do aterro, o que dificulta a obtenção de dados sob condições controladas (SOUSA *et al.*, 2012). Uma das soluções para estudos envolvendo a produção de biogás é a utilização do biorreator, que permite a compreensão do processo de decomposição anaeróbia, pois propicia condições ideais para o desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica e produção de biogás. Estudos desenvolvidos em biorreatores têm por finalidade o conhecimento das condições de degradação da matéria orgânica, possibilitando a verificação e alteração das condições ambientais e operacionais que favorecem a decomposição anaeróbia, possibilitando a melhora na eficiência da produção de biogás.

Conforme Barros (2013), os parâmetros passíveis de intervir no processo de digestão anaeróbia de RSU são pH, presença de inóculo, fração orgânica dos resíduos, proporção C:N, temperatura, dimensão da partícula e grau de compactação do RSU. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi comparar a composição do biogás proveniente de biorreatores com resíduos de dimensões diferentes em relação às suas frações de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>).

## **Material e Métodos**

O estudo foi conduzido no município de Itanhandu, localizado na região Sul do Estado de Minas Gerais, com área de aproximadamente 143 km<sup>2</sup> e população estimada, em 2014, em 15.006 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010). O experimento foi instalado na Unidade de Compostagem e Reciclagem (UCR) Itanhandu, local utilizado pelo serviço de limpeza pública municipal para a segregação de recicláveis e disposição final dos rejeitos.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS  
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

No experimento foram utilizados três biorreatores compostos, basicamente, por uma caixa d'água preenchida, sobretudo, com a fração orgânica do RSU do município (Erro! Fonte de referência não encontrada.). Nesses biorreatores foi estudada a interferência da dimensão da partícula na digestão anaeróbia de resíduos. Um dos biorreatores foi preenchido apenas com resíduo de pequena dimensão ( $\leq 4$  mm), outro apenas resíduo de dimensão maior ( $\geq 8$  mm), e o terceiro, foi preenchido com uma mistura proporcional de resíduos de pequena e grande dimensão, utilizado como controle.

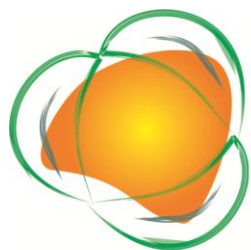


Fonte: iX Estudos e Projetos (2015)

**Figura 1:** Biorreatores utilizados no estudo

Para o enchimento dos biorreatores foram utilizadas somente as frações orgânicas dos resíduos. Para isso, foi realizada a triagem e separação do material orgânico, com a remoção dos materiais recicláveis. Posteriormente, os resíduos foram picados com a utilização de uma picadeira do tipo ensiladeira acionada por trator e, para obter o tamanho desejado, foi realizada associação de polias grandes e pequenas. De acordo com o ensaio de granulometria realizado com uma série de peneiras com malhas com aberturas de 12, 10, 8, 4 e 2 mm. Cerca de 60% resíduo de menor dimensão ficaram retidos na peneira de 4 mm, enquanto que 45% do resíduo de maior dimensão foram retidos na peneira de 8 mm. Para a mistura de resíduos, aproximadamente 40% ficaram retidos na peneira de 8 mm e 35% na de 4 mm. Portanto, a determinação da granulometria indicou a existência de diferença entre as dimensões dos resíduos utilizados no enchimento dos biorreatores.

Para a caracterização dos resíduos, coletou-se uma amostra com cerca de 2 kg de cada biorreator. Essas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Resíduos Sólidos, Hidrogeologia e Qualidade da Água (LABRES) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), para determinação de nove parâmetros físico-químicos (pH, sólidos totais, fixos e voláteis, alcalinidade, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total e carbono orgânico total) de acordo



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS  
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

com as metodologias preconizadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

Para a montagem dos biorreatores, primeiramente, foi instalado o coletor de chorume na parte inferior do biorreator (Figura 2a). Em seguida, uma camada de brita nº 01 foi colocada ao fundo a fim de drenar o chorume produzido (Figura 2b). Na seqüência, um dreno de biogás foi encaixado no centro do biorreator e recebeu uma camada de brita ao redor, sendo que ambos foram sustentados por uma tela plástica do tipo pinteiro (Figura 2c).

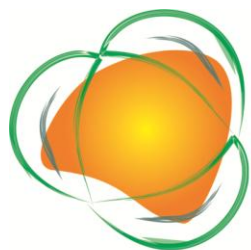


Fonte: iX Estudos e Projetos (2015)

**Figura 2:** Preparação dos biorreatores (A) Coletor de chorume (B) Camada de brita para drenagem do chorume (C) Dreno de biogás.

Para a determinação da massa do resíduo utilizado no enchimento do biorreator foi utilizada uma balança eletrônica de bancada com capacidade de 60 Kg. Os resíduos orgânicos picados, acondicionados em um tambor plástico, foram encaminhados para a pesagem e em seguida colocados no biorreator. Ao final do enchimento foi colocada uma massa de terra para cobrir e selar o resíduo e o biorreator foi lacrado com cola de silicone, a qual foi aplicada em toda a extensão da rosca da tampa.

Após o enchimento dos biorreatores, iniciou-se o monitoramento da produção de biogás durante 182 dias (01/10/15 a 31/03/16). A composição do biogás foi determinada por meio do analisador de gás GEM 5000 Landtec® (Figura 3a). Foi instalado um gasômetro, constituído de PVC, para cada biorreator. Cada gasômetro possui uma válvula onde é possível acoplar o aparelho para a leitura dessas variáveis (Figura 3bc).



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016



Fonte: iX Estudos e Projetos (2015)

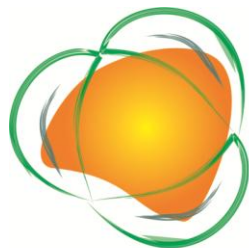
**Figura 3:** Monitoramento do volume, pressão e composição do biogás produzido nos biorreatores. (A) Analisador de gás GEM 5000 Landtec® (B) Gasômetros (C) Medição da pressão do gasômetro

O analisador de gás fornece a composição de biogás em porcentagem de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ). Os dados de composição do biogás foram armazenados em planilhas para o acompanhamento da produção elaboração de gráficos e análise dos resultados.

## Resultados e Discussão

Os parâmetros físico-químicos analisados nos resíduos utilizados no enchimento dos biorreatores indicaram a presença de significativa fração orgânica, evidenciando a eficiência do processo de remoção de materiais recicláveis. De acordo com a Tabela 1, os valores de pH variaram de 6,08 a 7,75 e, segundo Monteiro et al. (2001), valores de pH próximos à faixa de 4 a 7 revelam a presença de matéria orgânica fresca e livre da decomposição avançada. Os valores de sólidos totais fixos representam, em sua grande maioria, substâncias inorgânicas, e os voláteis, os componentes orgânicos (REMEDIO, MANCINI e ZANIN, 2002). Os percentuais de sólidos totais voláteis estiveram entre 52,6 e 68% e, conforme Leite (2008), concentrações de sólidos voláteis superiores a 60% apontam a presença significativa de material passível de degradação.

A biodegradabilidade dos resíduos pode ser indicada por meio da análise conjunta da DQO e DBO. Segundo Von Sperling (2005), materiais com valores de DQO/DBO de até 2,5 possuem uma fração biodegradável elevada, fato observado para os resíduos utilizados no experimento, que apresentaram valores de até 1,98. A concentração de carbono orgânico total esteve entre 850,4 e 1292 mg/L, enquanto que a de nitrogênio foi de 7,35 a até 31,15 mg/L. A proporção C/N é um parâmetro relevante e, segundo Barros (2013), proporções inadequadas de C/N podem prejudicar a digestão anaeróbia dos resíduos. Nesse estudo os valores da proporção C/N variaram de 27,30 a 117,38.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

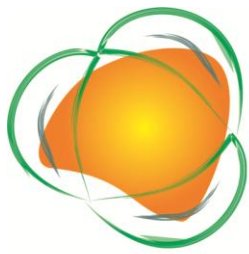
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

**Tabela 1:** Parâmetros físico-químicos dos resíduos utilizados no enchimento dos biorreatores.

Parâmetro físico-químico	Biorreator Resíduo	Biorreator	Biorreator
	Grande	Resíduo Pequeno	Mistura
pH	7,19	7,75	6,08
Sólidos totais (mg/L)	4.982	2.340	3.153
Sólidos totais fixos (%)	47,4	39,9	32,0
Sólidos totais voláteis (%)	52,6	60,1	68,0
Alcalinidade (mg/L)	280	240	337
Demanda química de oxigênio (mg/L)	1.190	1.056	1.024
Demanda bioquímica de oxigênio (mg/L)	755,4	632,5	515,9
Nitrogênio total (mg/L)	31,15	7,35	29,12
Carbono orgânico total (mg/L)	850,4	862,8	1292

Em condições anaeróbias, a biodegradação da fração orgânica dos resíduos produz o biogás que é composto, principalmente por  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , além de traços de outros gases. O monitoramento dos gases gerados auxilia na análise da evolução do processo de decomposição da matéria orgânica (ALCÂNTARA, 2007). No biorreator com resíduo de menor dimensão (Figura 4), a porcentagem de metano no biogás atingiu os maiores valores do estudo, com 35% de  $\text{CH}_4$  em 220 dias de enchimento. De acordo com Gujer e Zehnder (1983), partículas pequenas são hidrolisadas mais rapidamente que partículas grandes, pois há aumento da superfície de contato devido à diminuição do espaçamento entre o material e, conseqüentemente, há menos oxigênio presente e a digestão anaeróbia inicia-se mais rapidamente.

O biogás proveniente do biorreator com a mistura de resíduos (Figura 4) apresentou, para o período estudado, aproximadamente 30% de  $\text{CH}_4$ , 38% de  $\text{CO}_2$  e 1,2% de  $\text{O}_2$ . As reações de degradação dependem das baixas concentrações de  $\text{O}_2$ , pois a porcentagem de metano aumenta a medida que o  $\text{O}_2$  diminui. Em relação à composição do biogás, no biorreator de dimensão maior (Figura 4) a fração de metano ( $\text{CH}_4$ ) no biogás atingiu valor máximo de 15%, enquanto que o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) esteve com frações constantes (15%) durante todo o período do monitoramento. O menor teor de metano observado nesse biorreator pode estar associado à presença de quantidades consideráveis de  $\text{O}_2$  no seu interior, devido aos espaços vazios existentes entre os resíduos depositados. Outra interferência pode ser a entrada, não planejada, de ar no experimento, pois a presença de  $\text{O}_2$  interfere negativamente na degradação anaeróbia, que ocorre na ausência de oxigênio e, nesse cenário, faz-se necessária uma averiguação no aparato experimental.

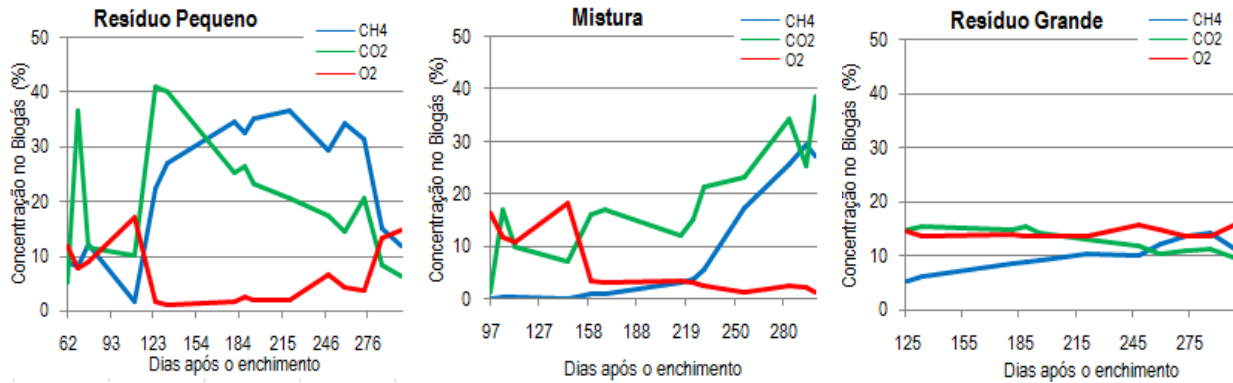


# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016



**Figura 4:** Gráficos do monitoramento do biogás de 01/10/2015 a 31/03/2016

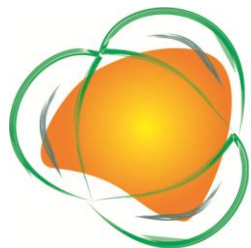
Os valores máximos de metano registrados nesse trabalho (15 a 35%) estão abaixo dos reportados na literatura, que indicam concentração de metano produzido na biodegradação anaeróbia da matéria orgânica entre 35 a 60%. De maneira comparativa, observou-se que o biogás com a maior porcentagem de metano foi gerado no biorreator com resíduo de menor dimensão e, de forma contrária, o biorreator com resíduo de maior dimensão gerou biogás com menores porcentagens de metano. Porcentagens de metano intermediárias aos dos biorreatores anteriormente citados foram observadas no biogás produzido no biorreator com mistura de resíduos.

## Conclusões

Os resíduos utilizados nos biorreatores são compostos, principalmente, por matéria orgânica. Além disso, houve presença de metano no biogás produzido nos três biorreatores, evidenciando, assim a ocorrência da degradação anaeróbia dos resíduos. De modo comparativo, o biorreator com resíduo de menor dimensão produziu biogás com a maior porcentagem de metano, o que pode estar associado à facilidade de degradação de partículas menores em comparação com partículas maiores. Portanto, nesse trabalho foi evidenciado que a dimensão da partícula influencia na produção de biogás.

## Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro e à Endesa Geração Brasil, proponente do projeto de P&D intitulado “Desenvolvimento de Arranjos Técnicos e Institucionais para o Aproveitamento de Biogás, por meio da Geração de Energia Elétrica, oriundo de Resíduos Sólidos Urbanos”, do qual o presente trabalho faz parte.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

## Referências Bibliográficas

- ALCÂNTARA, P.B. **Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados**. (Tese de doutorado) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2007.
- BARROS, R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2013. 357 p.
- BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. Brasília: Oficina de Textos, 2008
- GUJER, W.; ZEHNDER, J. B. Conversion processes in anaerobic digestion. **Water Science and Technology**, Dübendorf, v. 15, p. 127-167, 1983. Disponível em: <<http://www.iwaponline.com/wst/01508/wst015080127.htm>>. Acesso em :13 maio 2015.
- GÜLZOW, P. **Guia Prático do Biogás Geração e Utilização**. 5 ed. Alemanha: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2010 . Disponível em: <[http://www.resol.com.br/cartilhas/giz\\_-\\_guia\\_pratico\\_do\\_biogas\\_final.pdf](http://www.resol.com.br/cartilhas/giz_-_guia_pratico_do_biogas_final.pdf)>. Acesso em: 29 Abril 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos demográficos do município de Itanhandu**. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?lang=&codmun=313310&search=minas-gerais|itanhandu|infogr%E1ficos:-evolu%E7%E3o-populacional-e-pir%E2mide-et%E1ria>> com acesso em 04 de abril de 2016.
- LEITE, H. E. A. S. **Estudo do comportamento de aterros de RSU em um biorreator em escala experimental na cidade de Campina Grande-PB**. (Dissertação de Mestrado). Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2008. 218 p.
- MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO, M. A. F.; BRITO, J. C. X.; ALMEIDA, T. P. F.; MANSUR, G. L. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 204 p.
- REMÉDIO, M. V. P.; MANCINI, S. D.; ZANIN, M. Potencial de reciclagem de resíduos em um sistema com coleta de lixo comum. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7, p. 58-69, Rio de Janeiro: 2002.
- SILVA, L. **Aterros sanitários são a melhor forma de destinação do lixo urbano**. 2014. Disponível em:< <http://www.cpt.com.br/cursos-meioambiente/artigos/aterros-sanitarios-sao-a-melhor-forma-de-destinacao-do-lixo-urbano>>. Acesso em: 24 out. 2015.
- SOUSA, R. B. A.; AIRES, K. O.; DANTAS, E. R. B.; BATISTA, P. I. B.; MONTEIRO, V. E. D. Análise da composição de gases em uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos e sua relação com o pH do meio. In: SEMINÁRIO REGIONAL NORDESTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 4., São Cristóvão. **Anais...** São Cristóvão: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) e Universidade Federal de Sergipe (UFS), 2012.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005. 452 p