

Eixo Temático ET-06-004 - Energia

APLICAÇÃO DO MODELO LANDGEM PARA ESTIMAÇÃO DA GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO METROPOLITANO DE JOÃO PESSOA/PB

Dayse Pereira do Nascimento, Susane Eterna Leite Medeiros, Monica Carvalho

Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba. Caixa Postal 5115, Cidade Universitária, João Pessoa, Brasil. CEP 58051-970. E-mail: dayse.pereira@cear.ufpb.br, susane.eterna@cear.ufpb.br, monica@cear.ufpb.br.

RESUMO

Na sociedade moderna, uma das grandes preocupações é a conservação do meio ambiente, para isso se faz necessário adotar políticas de gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos (RSU) para evitar a contaminação ambiental. Atualmente a forma mais adequada para disposição final dos RSU são os aterros sanitários, sendo estes possíveis fontes de energia que utilizam o biogás gerado nas células do aterro. A cidade de João Pessoa/PB destina seus RSU ao Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa. O objetivo deste trabalho foi aplicar o modelo *Landfill Air Emissions Estimation Model* (LandGem, versão 2.01) para estimar a geração de biogás no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, e discutir sua aplicabilidade e limitações. Observou-se que o método foi desenvolvido para ser rápido e fácil de ser aplicado, baseado em utilizar o modelo mais simples possível que fosse consistente com princípios fundamentais. Entretanto, se os termos de potencial de geração de metano por tonelada de lixo e constante de geração de metano possuísem incertezas mais baixas, o modelo LandGem prediria a geração de biogás com relativa precisão.

Palavras-chave: Modelo Landgem; Gás de aterro; Biogás; Aterro; João Pessoa.

INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações mundiais é a conservação dos recursos naturais, que vem incluindo a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) que aumenta a cada ano nas sociedades modernas. A geração de RSU e seu gerenciamento já foi tema de encontros mundiais, como a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e a Agenda 21 (NAÇÕES UNIDAS, 2016). Esses eventos já propunham estratégias para o gerenciamento dos RSU compatível com a conservação dos recursos naturais (BRITO FILHO, 2005). No Brasil foi instituída a Lei N° 12.305/2010 (BRASIL, 2010a) regulamentada pelo Decreto N° 7.404/2010 (BRASIL, 2010b). A Lei N° 12.305/2010 trata do sistema de logística reversa, coleta seletiva e a disposição adequada dos RSU, e a forma mais adequada para a disposição dos RSU é por meio da utilização de aterros sanitários.

A disposição final de RSU produz emissões de gases de efeito estufa GEE, e com o aumento da população e do grau de urbanização, torna-se clara a necessidade de um correto gerenciamento da disposição final de resíduos sólidos urbanos (BRASIL, 2016).

Um aterro sanitário pode ser considerado como um reator biológico, onde as principais entradas são RSU e água, e as principais saídas são os gases e o chorume (BRASIL, 2016). A decomposição da matéria orgânica ocorre por dois processos, o primeiro processo é de decomposição aeróbia e o segundo processo é a decomposição anaeróbia.

A geração de gás de aterro começa após a disposição de RSU, e já pode-se encontrar presença de metano (CH₄) nos três primeiros meses, continuando ao longo da vida útil do aterro e até depois de 20 ou 30 anos depois do encerramento das disposições de RSU no aterro. O gás de aterro constitui-se principalmente de metano e dióxido de carbono (CO₂), e outros gases em bastantes menores quantidades (traços).

O objetivo de aproveitar a energia presente no gás de aterro produzido pela degradação dos RSU é a conversão em: eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou para abastecer gasodutos com gás de qualidade (BRASIL, 2016).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2013), um modelo de geração de gás de aterro fornece uma estimativa do metano ou gás de aterro gerado a partir de um volume de resíduos específico, ao longo do tempo. O modelo consegue descrever, de maneira simples, as alterações que ocorrem durante a decomposição dos resíduos em um aterro (ABRELPE, 2013). Em inglês, utiliza-se o termo *landfill gas* (LFG) para se referir especificamente ao gás gerado em aterros. Porém, se observa que na literatura em português tanto o termo "gás de aterro" quanto "biogás" são utilizados para se referir ao gás produzido pela decomposição dos resíduos sólidos em aterros.

Existem diferentes métodos descritos na literatura para estimar a geração de biogás em aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, que podem ser categorizados em modelos de ordem zero, de primeira ordem, multifásicos e de segunda ordem (OONK, BOOM, 1995).

Os modelos de primeira ordem são os modelos de geração de biogás mais comumente aplicados atualmente. O LandGEM da Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency* – USEPA) é um modelo de primeira ordem considerado como padrão, e é aplicado para estimar as emissões de biogás em aterros regulados pela USEPA, dentro da Lei do Ar Limpo (*Clean Air Act*).

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é aplicar o modelo *Landfill Air Emissions Estimation Model* (LandGem, versão 2.01) para estimar a geração de biogás no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, e discutir sua aplicabilidade e limitações.

METODOLOGIA

Resíduos Sólidos Urbanos

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos tem como objetivo principal a qualidade de vida da sociedade, dependendo basicamente de políticas públicas que tenham em seu escopo aspectos legais, financeiros, sociais e ambientais. João Pessoa possui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PPGIRS), no qual apresenta a situação atual do município de João Pessoa e expõe o prognóstico com diretrizes, estratégias, metas, programas e projetos e custos (JOÃO PESSOA, 2014).

A cidade de João Pessoa possui coleta diária dos RSU gerados pela população e a Autarquia de Especial de Limpeza Urbana (EMLUR) é o órgão responsável pela limpeza dispondo de pessoal qualificado, patrimônio e receitas próprias, autonomia financeira, administrativa e técnica (AUTARQUIA ESPECIAL MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA - EMLUR, 2014). Todo esse resíduo é destinado ao Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), sendo este uma concessão entre sete municípios (João Pessoa, Cabedelo, Bayeux, Santa Rita, Lucena, Conde e Cruz do Espírito Santo) (EMLUR, 2014). Existem também pontos de coleta de material reciclável e em alguns bairros da capital existe o serviço de coleta de material reciclável diretamente nas residências.

Os RSU depositados no ASMJP constituem-se de matéria orgânica (34,90%), resíduo verde (15,46%), plástico (14,36%), matéria de higiene pessoal (10,08%), papelão (4,63%), matéria fina (4,28%), tecido (3,53%), inflamáveis (3,20%), material inerte (1,87%), metal (1,31%), vidro (1,30%) e matéria especial (1,01%) (SILVA, 2014).

Modelo LandGem (*United States Environmental Protection Agency – USEPA*)

É um modelo de estimativa de geração de biogás em aterros sanitários, sendo mundialmente empregado, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency – USEPA*) (USEPA, 2005; FAOUR; REINHART; YOU, 2007; FRIIS, 2012).

A emissão de metano (CH₄) em aterros de RSU pode ser estimada por meio de modelos matemáticos que preveem a degradação de RSU ao longo do tempo. O modelo se baseia em reações de decaimento de primeira ordem, onde o potencial de emissão de metano é calculado com base na quantidade de RSU depositados a cada ano. Aqui se aplicou o *Landfill Air Emissions Estimation Model* (LandGem, versão 2.01), que possui duas categorias, uma para aterros que não possuem sistema de controle do biogás (emissões não controladas) e outra metodologia empregada em aterros que possuem um sistema de captura de biogás para queima ou para geração de energia (TARAZONA, 2010). As descrições seguem USEPA (2005), Faour, Reinhart e You (2007), Tarazona (2010) e Friis (2012).

Emissões não controladas. As emissões não controladas em aterros sanitários de RSU são encontradas em aterros que não possuem um sistema de controle dos gases, onde muitas vezes ocorre apenas a queima. Não há caldeiras a vapor, turbinas a gás ou motores a combustão interna. Para calcular a quantidade de CH₄ produzido é utilizada a Equação 1:

$$Q_{CH_4} = L_0 \cdot R \cdot (e^{-Kt} - e^{-Kc}) \quad (1)$$

Q_{CH_4} refere-se a quantidade de gás produzido (m³/ano), L_0 é o potencial de geração de CH₄ por tonelada de lixo (m³/t_{RSU}⁻¹), R é a média de resíduos depositados no aterro (t_{RSU}/ano), K é a constante de geração de CH₄ (ano⁻¹), c é o tempo desde o encerramento do aterro (anos) ($c = 0$ para aterros ativos), e t é o tempo decorrido desde o início da disposição do resíduo no aterro (anos).

Para casos onde não se tem informações detalhadas dos resíduos depositados no aterro de RSU, o R estima-se dividindo o total de lixo recebido pela idade do aterro.

O coeficiente K varia em função da umidade do resíduo, tipo de resíduo, disponibilidade de nutrientes para o desenvolvimento do processo anaeróbico, PH e temperatura; estas variáveis irão determinar o tempo de geração de metano e o tempo de vida dos aterros (CABRERA, 2011). Os valores de referência de K dependem da pluviosidade local (USEPA, 2005): para pluviosidade < 635 mm/ano, K = 0,02; para pluviosidade >635 mm/ano, K = 0,04.

Para o potencial de geração de metano (L₀), o valor recomendado pela USEPA (2005) é de 100m³/t de CH₄ por tonelada de resíduo depositado. Porém Chiemchaisri e Visvanathan (2008) argumentam que, para países em desenvolvimento, com alta parcela de material biodegradável no RSU, deve-se utilizar L₀ = 170 m³/t e K = 0.05 y⁻¹. Aqui optou-se por seguir estritamente as recomendações do modelo USEPA.

A equação 1 foi criada inicialmente para estimar a geração de metano e não para estimar as emissões, pois parte do metano gerado é capturado e degradado nas camadas superficiais do solo. No entanto, dada a dificuldade em avaliar essa degradação que ocorre nas camadas superficiais considera-se que todo metano gerado é emitido para a atmosfera e formará o biogás emitido pelo aterro sanitário (CABRERA, 2011).

Como a composição do biogás varia com o tempo, o modelo USEPA toma como composição típica do biogás: 55% CH₄ e 40% CO₂. Para estimar a quantidade de CO₂ emitido para a atmosfera é utilizada a equação 2:

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \cdot (C_{CO_2\%} / C_{CH_4}) \quad (2)$$

Para conhecer as emissões de outros componentes utiliza-se a equação 3:

$$UM_i = Q_i \cdot \left[\frac{PM_i \cdot 1atm}{8,205 \cdot 10^{-8} \cdot 1000 \cdot (273 + T)} \right] \quad (3)$$

Onde UM_i é a emissão anual do contaminante i (kg/ano), Q_i é a emissão anual do contaminante i (m³/ano), PM_i é o peso molecular do contaminante i (g/gmol), e T é a temperatura do biogás (caso não se tenha dados disponíveis adota-se 25°C e 1 atm).

Estimativa de emissões de gases controlados. Aplica-se a casos onde exista a instalação de um sistema de captura de biogás para queima em tocha ou para a produção de energia elétrica.

Os sistemas de captação não apresentam eficiência de 100%, já que parte do biogás produzido é emitido diretamente para atmosfera. No caso de desconhecer a eficiência do sistema, o método EPA sugere adotar o valor de 75% de eficiência de captação. Os dispositivos de controle e/ou utilização do gás gerado no aterro sanitário devem ser considerados. O método USEPA fornece um conjunto de dados padrão mostrados na Tabela1, onde as a eficiência do sistema de controle depende do dispositivo de controle empregado em cada aterro sanitário.

Tabela 1 Eficiência do sistema de controle (adaptado de CABRERA, 2011).

Dispositivo de controle	Contaminante	η _{cont} (%)
Tocha	COV*	99,2
Motores de combustão interna	COV*	97,2
Caldeiras	COV*	98,0
Turbina a gás	COV*	94,4

*COV – Composto Orgânico Volátil.

Para estimar os valores de emissão de CH₄ e CO₂, utilizam-se as equações 4 e 5, respectivamente:

$$CM_{CH_4} = \left(UM_{CH_4} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{COI}}{100} \right) \right) + \left(UM_{CH_4} \cdot \frac{\eta_{COI}}{100} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{CONT}}{100} \right) \right) \quad (4)$$

$$CM_{CO_2} = UM_{CO_2} + \left(UM_{CH_4} \cdot \frac{\eta_{COI}}{100} \cdot 2,75 \right) \quad (5)$$

Onde CM_{CH₄} são as emissões controladas de metano (kg/ano), UM_{CH₄} são as emissões não controladas de metano (kg/ano), η_{COI} é a eficiência do sistema de captação (75% default), e η_{CONT} é a eficiência do dispositivo de controle (Tabela 1). Na equação 4, CM_{CO₂} se refere às emissões controladas de CO₂ (kg/ano), UM_{CO₂} são as emissões não controladas de CO₂ (kg/ano) (Eq. 2) = Eficiência do sistema de captação, 75% de emissão, e 2,75 refere-se a proporção entre os pesos moleculares de CO₂ e CH₄.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra o quantitativo anual de RSU recebidos pelo aterro sanitário metropolitano de João Pessoa/PB (EMLUR, 2016).

Tabela 2. Resíduos sólidos urbanos recebidos pelo aterro sanitário metropolitano de João Pessoa/PB.

Ano	Resíduos sólidos urbanos recebidos (t)
2003	154.852,76
2004	156.780,14
2005	142.105,03
2006	163.637,53
2007	194.631,78
2008	198.358,99
2009	219.041,66
2010	210.315,42
2011	231.091,81
2012	239.113,89
2013	235.367,56
2014	250.873,59
2015	248.529,85
Média (R)	203.438,46

A partir da média de RSU coletados pela EMLUR (recebidos no aterro), procedeu-se ao cálculo da geração anual de biogás. A Tabela 3 mostra os valores das emissões obtidas, desde abertura do aterro (2003), para um aterro não controlado, e a Tabela 4 mostra as emissões estimadas para um aterro controlado (dispositivo de controle: tocha, em inglês, *flare*).

Tabela 3 Geração anual de CH₄ e CO₂, segundo o modelo USEPA para aterros não-controlados, para o caso de João Pessoa/PB.

Não controlado		
Ano	Q_{CH4} m³/ano	Q_{CO2} m³/ano
2003	797.693,61	580.140,81
2004	1.564.109,21	1.137.533,97
2005	2.300.473,22	1.673.071,43
2006	3.007.963,99	2.187.610,17
2007	3.687.713,64	2.681.973,56
2008	4.340.809,94	3.156.952,68
2009	4.968.297,95	3.613.307,60
2010	5.571.181,82	4.051.768,59
2011	6.150.426,26	4.473.037,28
2012	6.706.958,21	4.877.787,79
2013	7.241.668,23	5.266.667,80
2014	7.755.411,97	5.640.299,61
2015	8.249.011,53	5.999.281,11

Tabela 4 Geração anual de CH₄ e CO₂, segundo o modelo USEPA para aterros controlados, para o caso de João Pessoa.

Controlado						
Ano	UM_{CH4} kg/ano	CM_{CM4} kg/ano	Q_{CH4}* m³/ano	UM_{CO2} kg/ano	CM_{CO2} kg/ano	Q_{CO2}* m³/ano
2003	521.988,87	133.629,15	200.043,64	1.043.977,75	1.186.338,35	644.049,05
2004	1.023.510,27	262.018,63	392.243,46	2.047.020,547	4.158.010,49	2.257.334,68
2005	1.505.366,74	385.373,88	576.907,01	3.010.733,473	6.115.552,37	3.320.061,00
2006	1.968.329,34	503.892,31	754.329,81	3.936.658,675	7.996.337,93	4.341.117,23
2007	2.413.138,92	617.763,56	924.795,75	4.826.277,83	9.803.376,84	5.322.137,27
2008	2.840.507,26	727.169,86	1.088.577,63	5.681.014,52	11.539.560,74	6.264.690,96
2009	3.251.118,25	832.286,27	1.245.937,53	6.502.236,504	13.207.667,90	7.170.286,59
2010	3.645.628,96	933.281,01	1.397.127,27	7.291.257,914	14.810.367,64	8.040.373,31
2011	4.024.670,68	1.030.315,69	1.542.388,76	8.049.341,352	16.350.224,62	8.876.343,44
2012	4.388.849,96	1.123.545,59	1.681.954,47	8.777.699,913	17.829.702,95	9.679.534,72
2013	4.738.749,56	1.213.119,89	1.816.047,74	9.477.499,127	19.251.170,10	10.451.232,41
2014	5.074.929,41	1.299.181,93	1.944.883,13	10.149.858,82	20.616.900,73	11.192.671,41
2015	5.397.927,46	1.381.869,43	2.068.666,81	10.795.854,91	21.929.080,29	11.905.038,16

* = CH₄: 0,668 kg/m³; CO₂: 1,842 kg/m³.

Fonte: Elaborado pelas autoras.

A Tabela 5 mostra a taxa anual de geração de biogás, aplicando o modelo USEPA para aterros controlados e não-controlados, para o caso de João Pessoa/PB.

Tabela 5 Taxas de geração de biogás para o aterro sanitário metropolitano de João Pessoa/PB, modelo USEPA.

Ano	Não-controlado m ³ /ano	Controlado m ³ /ano
2003	1.377.834,42	844.092,69
2004	2.701.643,18	2.649.578,14
2005	3.973.544,65	3.896.968,02
2006	5.195.574,16	5.095.447,03
2007	6.369.687,20	6.246.933,02
2008	7.497.762,62	7.353.268,59
2009	8.581.605,56	8.416.224,12
2010	9.622.950,41	9.437.500,58
2011	10.623.463,55	10.418.732,20
2012	11.584.746,00	11.361.489,19
2013	12.508.336,04	12.267.280,15
2014	13.395.711,58	13.137.554,53
2015	14.248.292,64	13.973.704,97

Estendendo-se a análise até o final da vida útil do aterro (vida útil: 25 anos), onde em 2028 já não se deposita mais RSU, a Figura 1 mostra a curva de geração de biogás, dependendo do modelo USEPA aplicado. Aqui utilizou-se a função de previsão para obter um valor de RSU coletados entre 2017 e 2027 (fim da vida útil do aterro).

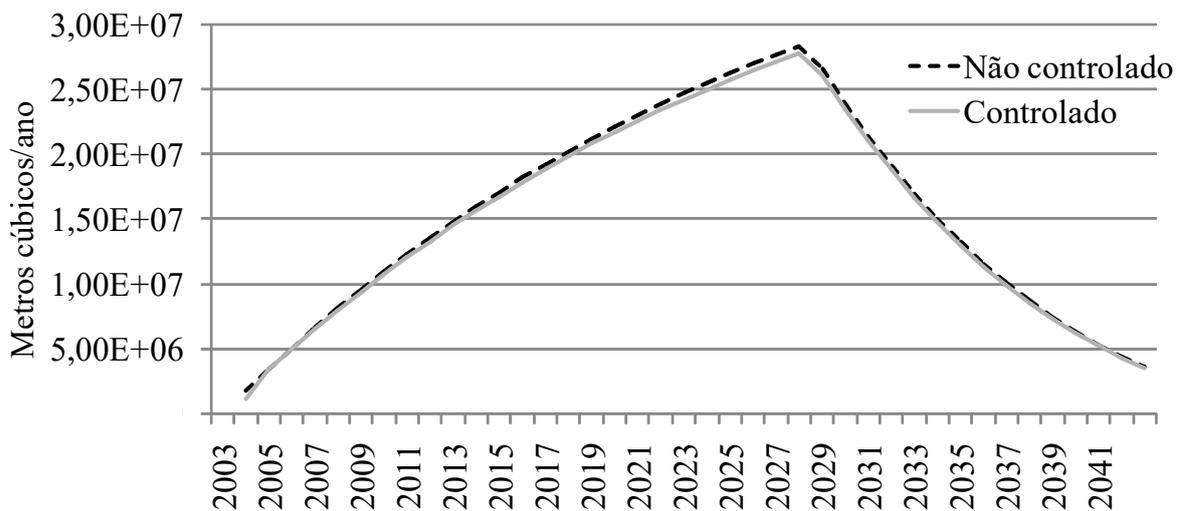


Figura 1 Geração anual de biogás, de acordo com os modelos USEPA, para o aterro sanitário metropolitano de João Pessoa.

Observa-se que não há diferenças consideráveis entre ambas curvas da Figura 1. O método USEPA foi desenvolvido para ser um método rápido e fácil de ser aplicado, para estimar de maneira geral a taxa de geração de biogás em um aterro, baseado em utilizar o modelo mais simples possível disponível que fosse consistente com princípios fundamentais (VIGIL, 1998). Segundo a ABRELPE (2013), justamente por causa das incertezas embutidas na estimativa de L_0 e K , as estimativas para as taxas de geração de biogás ficam ao redor de $\pm 50\%$, exceto se o modelo puder ser calibrado com os dados reais a partir de um sistema de coleta de gás razoavelmente abrangente. Amini, Reinhart e Mackie (2012) mencionam que as incertezas poderiam chegar até a 1109% neste caso.

Mendes e Magalhães Sobrinho (2008) mencionaram que os chamados "métodos de inventário" (e.g., IPCC e USEPA) são aproximações grosseiras, já que utilizam dados do censo populacional, taxa de resíduos coletada e condições do local de disposição dos resíduos. Finalmente, considerou-se que o método USEPA não é o mais adequado por considerar que a geração de resíduos é considerada por meio de um valor constante ao longo dos anos (MENDES; MAGALHÃES SOBRINHO, 2008; DARÁS *et al.*, 2013).

COMENTÁRIOS FINAIS

Este trabalho aplicou o modelo da USEPA (LandGEM) para estimar a geração de biogás (gás de aterro) no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa, a partir de dados reais de resíduos sólidos urbanos coletados pela Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), desde que o aterro entrou em funcionamento (2003).

Se os termos de L_0 (potencial de geração de CH_4 por tonelada de lixo, m^3/t_{RSU}^{-1}) e K (constante de geração de CH_4 , ano^{-1}) possuísem menores incertezas associadas, o modelo LandGem prediria a geração de biogás com relativa precisão. Porém sabe-se que os parâmetros variam grandemente, e são difíceis de estimar precisamente em um aterro específico.

Trabalhos futuros das autoras incluem a aplicação de outros modelos, mais refinados (que levem em consideração a geração de biogás ao longo dos anos, por meio de uma aproximação da cinética de decomposição do resíduo), para estimativa de geração de biogás no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa/PB.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Projeto Universal, nº 475879/2013-9 e Bolsa de Produtividade em Pesquisa, nº 303199/2015-6.).

REFERÊNCIAS

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: [s.n.], 2013.

AMINI, H. R.; REINHART, D. R.; MACKIE, K. R. Determination of first-order landfill gas modeling parameters and uncertainties. **Waste Management**, v. 32, n. 2, p. 305-316, 2012.

AUTARQUIA ESPECIAL MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIS) de João Pessoa**. João Pessoa: EMLUR, 2014. (v. 1, Diagnóstico).

AUTARQUIA ESPECIAL MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA - EMLUR. Quantitativo de resíduos recebidos pelo aterro sanitário metropolitano de João Pessoa. Protocolo 201516909. João Pessoa: EMLUR, 2016.

BRASIL. Lei nº 12.305/2010. 2010a. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. Decreto nº 7.404/2010. 2010b. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

CABRERA, E. G. Analisis de Productos y Procesos en un Vertedero R.S.U. para su Aprovechamiento Energético. Relatório, Engenharia Técnica Industrial, Universidade de Sevilha. Sevilha, Espanha: US, 2011.

CHIEMCHAISRI, C.; VISVANATHAN, C. Greenhouse gas emission potential of the municipal solid waste disposal sites in Thailand. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 58, n. 5, p. 629-635, 2008.

DARÁS, F. G. *et al.* Análisis comparativo entre los modelos de generación de biogás aplicados a las emisiones de un relleno sanitario en México. In: SIMPOSIO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE RESIDUOS, 5., 2013, Mendoza, Argentina. Anais... Mendoza: REDISA, 2013.

BRITO FILHO, L. F. **Estudo de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação (Mestrado) - UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil. 2015.

FAOUR, A. A.; REINHART, D. R.; YOU, H. First-order kinetic gas generation model parameters for wet landfills. **Waste Management**, v. 27, n. 7, p. 946-953, 2007.

FRIIS, R. H. **The Praeger Handbook of Environmental Health**. [s.l.]: ABC-CLIO, 2012.

JOÃO PESSOA. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. João Pessoa: [s.n.], 2014.

MENDES, L. G. G.; MAGALHÃES SOBRINHO, P. Comparação entre métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. **Revista Biociências**, v. 13, 2008.

NAÇÕES UNIDAS. Sustainable development knowledge platform. 2016. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

TARAZONA, C. F. **Estimativa de Produção de Gás em Aterros de Resíduos Sólidos Urbano**. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil. 2010.

OONK, H.; BOOM, T. Validation of landfill gas formation models. **Studies in Environmental Science**, v. 65, p. 597-602, 1995.

SILVA, G.A. **Estimativa da geração de biogás no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa através do teste BMP**. João Pessoa: UFPB, 2014. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Eng. Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version3.02 User's Guide. 2005. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/landgem-v302-guide.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2016.

VIGIL, S. A. **Evaluation of the US EPA recommended approach to predicting air emissions from pulp and paper industry landfills**. Technical Bulletin No. 790. Research Triangle Park, N.C.: National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement Inc., 1998.