

## Geração quantitativa e qualitativa da emissão de biogás no aterro sanitário de Maceió

Os aterros sanitários ainda são a opção mais utilizada para a destinação final de resíduos sólidos urbanos (RSU). Uma estrutura bem planejada e controlada com sistemas de drenagem, tratamento de lixiviados e sistemas para coleta e queima do biogás, são essenciais para evitar a emissão de metano na atmosfera. Neste sentido, o presente estudo buscou avaliar a vazão e a qualidade do biogás do aterro sanitário de Maceió/AL. A leitura da vazão do biogás no aterro sanitário foi realizada em 15 drenos verticais (poços) e a qualificação do biogás foi realizada por cromatografia gasosa. O estudo mostrou que a vazão do biogás é diferente nos drenos e que o biogás possui composição satisfatória (56,86% de metano) para aproveitamento energético. A diferença na vazão dos drenos pode estar associada as fissuras do aterro sanitário, o que mostra que a implantação e adaptação dos drenos verticais e o sistema de cobertura do aterro sanitário, são elementos importantes e que devem ser considerados na quantificação e qualificação da vazão de gás no aterro sanitário. Deste modo, o presente estudo contribuiu na estimativa da qualidade e a quantidade de CH<sub>4</sub>, através de drenos verticais em aterro sanitário.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos domésticos; Drenos verticais; Emissões de biogás; Fontes renováveis.

## Quantitative and qualitative generation of biogas emission in Maceió's landfill

Landfills are still the most used option for the final disposal of solid urban waste (MSW). A well-planned and controlled structure with drainage systems, leachate treatment and systems for collecting and burning biogas are essential to avoid the emission of methane into the atmosphere. In this sense, the present study sought to evaluate the flow and quality of biogas from the landfill in Maceió/AL. The reading of the biogas flow in the landfill was performed in 15 vertical drains (wells) and the biogas qualification was performed by gas chromatography. The study showed that the flow of biogas is different in the drains and that the biogas has a satisfactory composition (56.86% methane) for energy use. The difference in the flow of the drains may be associated with cracks in the landfill, which shows that the implementation and adaptation of vertical drains and the landfill cover system are important elements that must be considered in the quantification and qualification of the flow of gas in the landfill. In this way, the present study contributes to the estimation of the quality and quantity of CH<sub>4</sub>, through vertical drains in a landfill.


**Keywords:** Domestic solid wastes; Vertical drains; Biogas emissions; Renewable sources.

Topic: **Sistemas de Energia Sustentável**


Received: **02/08/2020**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: **19/09/2020**

**Claudionor de Oliveira Silva**   
Universidade do Vale do Taquari, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7914499903341694>  
<http://orcid.org/0000-0002-6566-0451>  
[claudionor.silva@univates.br](mailto:claudionor.silva@univates.br)

**Odorico Konrad**   
Universidade do Vale do Taquari, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9946679953072196>  
<http://orcid.org/0000-0002-6968-7969>  
[okonrad@univates.br](mailto:okonrad@univates.br)

**Nélia Henriques Callado**   
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8042175776163111>  
<http://orcid.org/0000-0002-2393-555X>  
[nelia.callado@yahoo.com.br](mailto:nelia.callado@yahoo.com.br)

**Munike Marder**   
Universidade do Vale do Taquari, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6070031909886243>  
<http://orcid.org/0000-0002-1388-4306>  
[mmarder@univates.br](mailto:mmarder@univates.br)

**Liz Geise Santos de Araújo**   
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4373479527873700>  
<http://orcid.org/0000-0003-0196-7064>  
[lizaraujoeng@gmail.com](mailto:lizaraujoeng@gmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0037

### Referencing this:

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; MARDER, M.; ARAÚJO, L. G. S.. Geração quantitativa e qualitativa da emissão de biogás no aterro sanitário de Maceió. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.5, p.401-408, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0037>

## INTRODUÇÃO

Uma das alternativas consideradas ambientalmente adequada para disposição de resíduos sólidos urbanos é o aterro sanitário (BRASIL, 2010). A estrutura de um aterro sanitário exige cuidados especiais para reduzir os impactos ambientais. A construção de um aterro sanitário deve conter tratamento de gases e lixiviados, drenagem superficial de águas pluviais, impermeabilização da fundação e camada de cobertura diária dos resíduos (ABNT 1984; 1997; 2010). A decomposição dos resíduos sólidos exige um controle ambiental dos lixiviados (chorume), que são coletados por meio de drenos e tratados em lagoas anaeróbias, e do biogás, que é queimado ou coletado para aproveitamento energético (FELICORI et al., 2016).

O biogás tornou-se uma das fontes renováveis mais importantes nas últimas décadas (SCHNEIDER et al., 2020). Sua composição é formada por uma mistura de dois principais gases de efeito estufa: metano ( $\text{CH}_4$ ), que consiste em cerca de 55-75 % do volume, e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), composto por cerca de 25-45% do volume (OGUNJUYIGBE et al., 2017), e outros gases como: o gás hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), com concentração podendo variar entre 0 a 1%, o nitrogênio (N), de 0 a 7%, o oxigênio (O), de 0 a 2%, o ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), de 0 a 3%, a amônia ( $\text{NH}_3$ ), de 0 a 3% (POSSA, 2013). Os percentuais dos gases que compõem o biogás podem variar conforme o tempo de existência do aterro (PIÑAS et al., 2016).

Os aterros sanitários podem utilizar o biogás para a geração de energia se o monitoramento adequado for explorado em tempo e, uma vez que a geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos apresenta maior potencial em comparação aos resíduos agrícolas e florestais (VILLANUEVA-ESTRADA et al., 2019).

Vários fatores podem interferir na qualidade da composição do biogás em aterros sanitários. Maciel (2003), aponta, entre eles a parcela de material orgânico entre os resíduos sólidos domésticos, a forma de operação do aterro e o clima da região. É necessário o conhecimento das quantidades orgânicas e inorgânicas dos resíduos; a forma da disposição nas células, com vistas a compactação pretendida; projeção das linhas de exaustão dos gases e drenagens das águas pluviais e chorume; contenção e impermeabilização do conjunto; e melhoria do processo biológico, com reciclagem dos líquidos (SILVA et al., 2009).

Em termos quantitativos de geração de biogás em aterros sanitários, Maciel (2003), destaca que aponta que, a “estimativas experimentais de permissão de biogás pela camada de cobertura de um aterro e por drenos verticais por ventura existentes estão relacionadas com a forma de operação do aterro ao longo dos anos”. Maciel (2003), ainda revela vários fatores que podem interferir na quantidade de biogás nos aterros sanitários, quando não bem dimensionados. Fatores como: profundidade e quantidade de drenos de gases, espessura das camadas de cobertura e dimensões das células, influenciam nas rotas do biogás no interior da massa de lixo e, conseqüentemente nos pontos de fuga de gás para a superfície.

A forma mais simples de coletar gases do aterro é através da extração do biogás por meio de drenos verticais (NECKER et al., 2017). O biogás provindo dos aterros sanitários propicia o surgimento de uma fonte de energia renovável e alternativa relacionada ao destino adequado dos resíduos sólidos no que se trata do seu tratamento e reaproveitamento. O biogás gerado nos aterros sanitários pode ser empregado como, combustível nas caldeiras, produção de energia através de motores e microturbinas e purificado para uso

veicular e ainda há possibilidade de ganhos com a venda de créditos de carbono, para isso um projeto também deverá ser feito junto com um estudo mais completo para a verificação da possibilidade de ser executável economicamente para esse fim (NECKER et al., 2017).

Segundo Audibert et al. (2012), não existe unanimidade na literatura com relação ao melhor método para avaliação dos gases nos drenos dos aterros sanitários, principalmente pelas diversidades de formas de operação dos locais onde os aterros se posicionam. No entanto, se há possibilidade de utilizar os drenos de gás do aterro sanitário para a leitura de vazão, então esta medida deve ser concretizada para identificar um possível reaproveitamento do biogás como energia” (BORGES et al., 2016).

Nesse estudo foram realizadas as medições de vazões e determinação da composição do biogás nos drenos verticais emitido pelo aterro sanitário de Maceió, cidade localizada no litoral de Alagoas. Para esse fim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a vazão e a qualidade do biogás do aterro sanitário de Maceió/AL.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi realizado no aterro sanitário CTR-Maceió. O aterro ocupa uma área de 84 (ha), sendo formado por um sistema de impermeabilização de base, composto por solo siltoso compactado, argila compactada, geomembrana de PEAD, geotêxtil e camada drenante. Os resíduos recebidos são compactados e recobertos com uma camada de solo. O lixiviado (chorume) e o biogás produzidos são armazenados em lagoas de contenção e queimados em *flares* (130 drenos), respectivamente.

Atualmente, recebe diariamente cerca de 500 toneladas de resíduos sólidos orgânicos (RSU/dia). Sua vida útil foi dimensionada para o total de 20 anos, pois possui 4 fases de operação. A fase I já foi encerrada em 2017, objeto de estudo. Foi realizada a verificação das instalações do aterro para que as condições de conservação dos drenos de saída de gás possam ser detalhadamente analisadas. Os pontos definidos para medição de biogás nos drenos foram mapeados com o auxílio de um GPS (Global Positioning System) do modelo GPSPMAP 64, fabricado pela empresa Garmin. O mapeamento identificará as coordenadas geográficas, indicando 9 pontos, para medições de vazão e coleta de biogás (figura1).



**Figura 1:** Pontos para medição de gás no aterro sanitário. **Fonte:** Google Earth (2020).

## Inspeção do biogás no aterro

Para a medição do biogás foi utilizado os seguintes equipamentos: (i) analisador de gás portátil, da marca Biogás 5000, para medição de temperatura, pressão e composição do biogás - CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S; e (ii) anemômetro, da marca Geotech, utilizado para medir a vazão do biogás nos drenos verticais. O biogás coletado foi analisado por meio da Cromatografia Gasosa (GC), modelo Clarus 580 GC - ARNL5840 modificado, marca PerkinElmer, equipado com Detector por Condutividade Térmica (TCD) para leitura de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub> e Detector Fotométrico de Chama (FPD) para identificação de H<sub>2</sub>S. As colunas utilizadas no ensaio foram empacotadas (Hayesep e Peneira Molecular), o gás de arraste utilizado foi argônio e o gás de combustão para o FPD foi o hidrogênio, a temperatura do forno foi de 60 °C e as temperaturas dos detectores foram 250 °C para o TCD e 325 °C para o TCD. O software utilizado foi o Total Chrom & Int. LINK.

A leitura da vazão do biogás foi realizada por procedimento adaptativo, utilizando-se um tubo de PVC 100 mm, de 1m de comprimento e diâmetro 9,7 cm (área de seção de passagem do fluido), com um furo, introduzindo-se no dreno de gás. A vazão efetiva de biogás foi obtida multiplicando-se a velocidade do biogás pela seção (área) da peça. As medições de vazão foram realizadas de acordo com a equação (1) (MILLS et al., 1993).

$$Q = (V \times A) \times \frac{273,15}{273,15+T} \times P \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

Q: vazão de biogás (Nm<sup>3</sup>/s)

V: velocidade de saída do biogás (m/s)

A: área da seção de passagem do fluido (m<sup>2</sup>)

T: temperatura de saída do biogás (°C)

P: pressão atmosférica (bar)

A coleta do biogás foi realizada em uma adaptação de um tubo de PVC introduzida ao dreno vertical de gás. A adaptação foi estruturada com uma tampa (para fechar uma das extremidades do tubo), uma torneira de passagem, uma válvula e uma mangueira de silicone ligado ao bag (figura 2).



**Figura 2:** Coleta de gás nos drenos verticais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição do biogás, obtida a partir da cromatografia gasosa, das amostras coletadas nos drenos verticais do aterro sanitário foi 56,86 % de CH<sub>4</sub>, 41,72 % de CO<sub>2</sub>, 0,22 % de O<sub>2</sub>, 0,00 % de H<sub>2</sub> e 1,20 de

N<sub>2</sub> (tabela 1). O valor de CH<sub>4</sub> é semelhante aos valores encontrados por Candiani et al. (2015), que verificaram concentração de 58,7% de CH<sub>4</sub> no aterro de Caieiras-SP; Maciel et al. (2011), que apuraram concentração entre 24 e 57 % de CH<sub>4</sub> no aterro sanitário de Muribeca, Recife-PE; Moreira (2018), que encontraram concentração entre 52,2 a 63,9 % de CH<sub>4</sub> no aterro sanitário de Campina Grande-PB.

**Tabela 1:** Composição do biogás no aterro sanitário de Maceió (%).

Componentes	Teor dos gases (%)
CH <sub>4</sub>	56,86
CO <sub>2</sub>	41,72
O <sub>2</sub>	0,22
H <sub>2</sub>	0,00
N <sub>2</sub>	1,20

Tchobanoglous et al. (1993), apresentam na tabela 2, a composição do biogás típica produzida a partir da decomposição de resíduos orgânicos nos aterros sanitários. Os valores da composição do biogás do aterro sanitário de Maceió/AL estavam na faixa apresentada pelos autores.

**Tabela 2:** Composição de biogás de aterro sanitário.

Composição do biogás	Teor dos gases (%)
Metano	45 – 60
Dióxido de carbono	40 – 60
Nitrogênio	2,0 - 5,0
Oxigênio	0,1 - 1,0
Enxofre	0 - 1,0
Amônia	0 - 0,2
Hidrogênio	0 - 0,2
Monóxido de carbono	0 - 0,2
Gases em menor concentração	0,01 - 0,6

**Fonte:** Adaptado de Tchobanoglous et al. (1993).

A vazão média de biogás considerado os drenos verticais monitorados no aterro foi de 912,45 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. A vazão total de CH<sub>4</sub> foi de 518,82 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. A vazão média de biogás por dreno foi de 13,44 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. A vazão média de CH<sub>4</sub> por dreno vertical foi de 7,4 Nm<sup>3</sup>/h (tabela 3). No estudo realizado por Candiani et al. (2015) onde o monitoramento do biogás do aterro sanitário caieiras foi avaliado, encontrou-se a vazão total de biogás de 1.659 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, a vazão total de gás metano de 999,9 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, a vazão média de biogás por dreno vertical de 20,5 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e a vazão média de gás metano por dreno vertical de 12,34 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

**Tabela 3:** Vazões de biogás e gás metano dos drenos verticais no aterro sanitário de Maceió

Monitoramento	Vazão (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
Vazão total de biogás	912,45
Vazão total de gás metano	518,82
Vazão média de biogás por dreno	13,44
Vazão média de gás metano por dreno	7,4

Outros estudos apresentaram variações na emissão de metano nos drenos verticais (tabela 4). Além do monitoramento de biogás e metano, este estudo possibilitou a observação da situação estrutural do aterro sanitário de Maceió. Em campo, verificou-se aspectos operacionais como corrosão nos drenos verticais e fissuras na camada de cobertura que podem estar causando a deterioração dos drenos e fuga do biogás, influenciando na vazão de biogás ao longo do sistema de drenagens dos drenos.

**Tabela 4:** Vazão de biogás nos drenos verticais obtido em diferentes estudos

Autores	Vazão média de biogás por dreno (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Vazão média de gás metano por dreno (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
Candiani et al. (2015)	20,34	12,34
Silva et al. (2013)	-	7,15
Audiber et al. (2012)	-	13,10
Maciel et al. (2011)	58,40	28,80
Silva et al. (2008)	81,99	-
Ensinas (2003)	15,56	8,78

Considerando a vazão média de biogás nos drenos (13,44 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) e CH<sub>4</sub> (7,4 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>), por dreno vertical obtida neste estudo e o número de drenos verticais do aterro (130), estima-se que o aterro sanitário de Maceió (área do estudo), esteja produzindo cerca de 1.747Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>de biogás e aproximadamente 962 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, de CH<sub>4</sub>.

As observações obtidas dos métodos operacionais do aterro sanitário de Maceió podem explicar as variações da vazão de biogás nos drenos. Segundo Mariano et al. (2010) as variações na emissão de metano podem ocorrer devidos alguns aspectos na camada de cobertura do aterro (característica do solo, espessura e grau de compactação), além de ser influenciadas pelo tempo de disposição dos resíduos, pelas características geotécnicas e pelos aspectos climáticos. Ainda, ressalta-se que o aterro sanitário recebe resíduo constantemente e isso movimenta as redes de tubulações de biogás, influenciando na produção de biogás nos drenos verticais do aterro sanitário.

Afere-se que, o biogás que escapa pela superfície esteja escoando pelas fissuras na camada de cobertura. A figura 3 mostra uma destas fissuras no aterro sanitário de Maceió. Outra via para possíveis vazamentos de biogás são os drenos com fissuras (pode estar escapando por alguma rachadura), e corrosão (saída de biogás por alguns furos no sistema de drenagens), no aterro sanitário. Estudos revelam uma perda significativa pela superfície dos aterros sanitários: Maciel et al. (2011), encontraram 22%, de gás fugitivas, estudando o aterro sanitário de aguazinha, no Estado de Pernambuco, Brasil; Candiani et al. (2017) obtiveram 31,4%, estudando o aterro sanitário de caieiras no município de Caieiras, SP; Silva et al. (2013), encontraram 16% e 35%, estudando o aterro sanitário bandeirante e Caieiras, SP, respectivamente.

**Figura 3:** Fissura presente no aterro sanitário de Maceió.

Diante do exposto, foi constatado que, há diferenças entre vários trabalhos relacionados à vazão do biogás em aterro sanitário e está vazão depende dos procedimentos de operação do aterro sanitário. Assim, destaca-se que a implantação e adaptação dos drenos verticais e o sistema de cobertura do aterro sanitário, são elementos importantes, que deve ser levado em consideração na quantificação da vazão de gás no aterro

sanitário. Uma vez que a corrosão nos drenos pode causar a saída de biogás pelo sistema de drenagem no aterro sanitário por furos nas tubulações e as fissuras na cobertura do aterro podem causar o escapamento de gás na superfície do aterro

## CONCLUSÕES

O biogás gerado no aterro sanitário de Maceió/AL com resíduos sólidos domésticos apresenta características satisfatórias de volume e qualidade para o aproveitamento energético. As leituras avaliadas nos drenos verticais do aterro são eficientes para analisar a quantidade e a qualidade de biogás no aterro sanitário. O valor de CH<sub>4</sub>, nos drenos verticais do aterro sanitário foi 56,86%, este valor é semelhante a outros estudos, e está dentro da faixa de composição do biogás típica produzida a partir da decomposição de resíduos orgânicos nos aterros sanitários. A vazão média de biogás por dreno foi de 13,44 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e a vazão média de CH<sub>4</sub> por dreno vertical foi de 7,40 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Cabe ressaltar que existe uma variabilidade nos valores dessas duas médias em diversos estudos.

Os resultados mostraram que a vazão do biogás depende dos procedimentos de operação do aterro sanitário. A implantação e adaptação dos drenos verticais e o sistema de cobertura do aterro sanitário, são elementos essenciais, que deve ser levado em consideração na quantificação e qualificação da vazão de gás no aterro sanitário.

Os dados obtidos da vazão de gás do aterro sanitário de Maceió/AL podem servir como orientação para o desenvolvimento de procedimentos quanto à operação de aterros sanitários. No entanto, mais estudos são necessários para realizar novos testes em diversos períodos para obter resultados mais completos, visto que os aterros sanitários apresentarem variedade no sistema de operação.

**AGRADECIMENTOS:** À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 06508:** Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm: determinação de massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.896:** aterros de resíduos não perigosos: critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15849:** Resíduos sólidos urbanos: Aterros sanitários de pequeno porte: Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AUDIBERT, J. L.; FERNANDES, F.. Avaliação qualitativa e quantitativa da emissão de biogás em aterro controlado de médio porte. *Revista DAE*, n.190, 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.094>

BORGES, T. M.; VIMIEIRO, G. V.; CATAPRETA, C. A. A.. Guia para monitoramento ambiental em aterros sanitários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL CAMPINA GRANDE/PB, 7. *Anais. IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais*, 2016.

BRASIL. **Lei n. 12.305 de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: DOI, 2010.

CANDIANI, G.; TORRES, D. C.. Análise qualitativa e quantitativa da produção de biogás em aterro sanitário. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, Aquidabã, v.6, n.1, p.285-292, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/SPC21796858.2015.001.0022>

CANDIANI, G.; VIANA, E.. Emissões fugitivas de metano em aterros sanitários. *Geosp: Espaço e Tempo*, v.21, n.3, p.845-857, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2017.97398>

ENSINAS, A. V.. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas (SP)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FELICORI, T. C.; MARQUES, E. A. G.; SILVA, T. Q.; PORTO, B. B.; BRAVIN, T. C.; SANTOS, K. M. C.. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.21, n.3, p. 547-560, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016146258>

MACIEL, F. J.. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MACIEL, F. J.; JUCÁ, J. F.. Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW large-scale Experimental Cell in Brazil. **Waste Management**, v.31, n.5, p.966-977, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.030>

MACIEL, F. J.; JUCÁ, J. F. T.; CODECEIRA NETO, A.. Avaliação do projeto piloto de recuperação de biogás no aterro da Muribeca/PE. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 6; SEMINÁRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SETOR ELÉTRICO, 2. **Anais**. Fortaleza, 2011.

MARIANO, M. O. H.; JUCÁ, J. F. T.. Ensaios de campo para determinação de emissões de biogás em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.15, n.3, p.223-228, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522010000300004>

MILLS, I.; CVITAS, T.; HOMANN, K.; KALLAY, N.; KUCHITSU, K.. **Quantities, units and symbols in physical chemistry**. Oxford: Blackwell Science Publications, 1993.

MOREIRA, F. G. S.. **Emissões fugitivas de biogás em célula de aterro sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

NECKER, H. S.; CÂMARA, P. T.. Estimativa Teórica da Geração de Biogás em Aterros Sanitários. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v.2, n.16, p.356-363, 2017.

OGUNJUYIGBE, A. S. O.; AYODELE, T. R.; ALAO, M. A.. Electricity generation from municipal solid waste in some selected cities of Nigeria: an assessment of feasibility,

potential and technologies Renew. **Sustain. Energy Rev.**, v.80, p.149-162, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.282>

PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; OLIVEIRA, M. A.; ROALCABA, O. D. C.. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). **R. bras. Est. Pop.**, Rio de Janeiro, v.33, n.1, p.175-188, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.20947/S0102-309820160009>

POSSA, R. D.. **Tecnologia alternativa para purificação do metano contido no biogás proveniente da digestão anaeróbica de dejetos de suínos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2013.

SCHNEIDER, N.; GERBER, M.. Rheological properties of digestate from agricultural biogas plants: An overview of measurement techniques and influencing factors. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.121, p.109709, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109709>

SILVA, C. L.; RABELO, J. M. O.; RAMAZZOTTE, V. C. B.; ROSSI, L. F. S.; ALBERTO, H.. La cadena del biogás y la sustentabilidad local: Un análisis socioeconómico y ambiental de la energía de los residuos sólidos urbanos del relleno de Caximba en Curitiba Bollamann. **Innovar**, v.19, n.34, p.83-98, 2009.

SILVA, T. N.; CAMPOS, L. M. S.. Avaliação da produção e qualidade do gás de aterro para energia no aterro sanitário dos bandeirantes/SP. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.13, n.1, p.88-96, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000100012>.

SILVA, T. N.; FREITAS, F. S. N.; CANDIANI, G.. Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.18 n.2, p.95-104, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000200001>

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VINIL, S.. **Integrated Solid Waste Management: Engineering principles and management issues**. Washington: McGraw-Hill, 1993.

VILLANUEVA-ESTRADA, R. E.; ROCHA-MILLER, R.; ARVIZU-FERNÁNDEZ, J. L.; GONZÁLEZ, A. C.. Energy production from biogas in a closed landfill: A case study of Prados de la Montaña, Mexico City. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v.31, p.236-244, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.12.005>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustener Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.