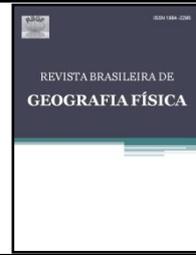




# Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)

## Estimativa de geração de biogás em aterro sanitário no Estado de Alagoas

Guilherme Bastos Lyra<sup>1</sup>, André Luiz de Carvalho<sup>2</sup>, Gustavo Bastos Lyra<sup>3</sup>, Stoécio Malta Ferreira Maia<sup>4</sup>, Lekson Rodrigues Santos<sup>5</sup>, Ivomberg Dourado Magalhães<sup>6</sup>, Tiago Sandes Costa<sup>7</sup>, Arthur Luan Dias Cantarelli<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Dr. Prof. Adjunto, Centro de Ciências Agrárias (CECA), Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, [gbastoslyra@gmail.com](mailto:gbastoslyra@gmail.com); <sup>2</sup>Dr. Bolsista PNPd, Centro de Ciências Agrárias (CECA), Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, [del.andre2@hotmail.com](mailto:del.andre2@hotmail.com) (autor correspondente); <sup>3</sup>Dr. Prof. Associado, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, [gblyra@gmail.com](mailto:gblyra@gmail.com); <sup>4</sup>Dr. Prof. Adjunto, Instituto Federal de Alagoas, Campus Marechal Deodoro, Alagoas, [stoecio.maia@gmail.com](mailto:stoecio.maia@gmail.com); <sup>5</sup>Mestre em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias (CECA), Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, [lksantos1983@gmail.com](mailto:lksantos1983@gmail.com); <sup>6</sup>Dr. Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias (CECA), Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, [ivomberg31@hotmail.com](mailto:ivomberg31@hotmail.com); <sup>7</sup>Mestrado Profissionalizante em Energia da Biomassa, Centro de Ciências Agrárias (CECA), Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, [sandes13@yahoo.com.br](mailto:sandes13@yahoo.com.br); <sup>8</sup>Mestrando no Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias (CECA), Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, [aldcantarelli@hotmail.com](mailto:aldcantarelli@hotmail.com).

Artigo recebido em 31/05/2018 e aceito em 14/12/2018

### RESUMO

As fontes de energias alternativas são as principais indutoras da matriz energética mundial, entre as quais constam os biocombustíveis provenientes da biomassa. Nas últimas décadas, houve a necessidade de se investir em energias alternativas que possam mitigar as emissões de gases de efeito estufa, com destaque para o aproveitamento do potencial energético do biogás e a possibilidade de sua transformação em energia útil. Assim, objetivou-se com este trabalho estimar o potencial de geração de biogás em aterro sanitário no estado de Alagoas. O estudo avaliou a viabilidade da utilização de biodigestores para o aproveitamento energético do biogás produzido pela decomposição da matéria orgânica dos resíduos sólidos urbanos, os quais contêm significativa parcela de matéria orgânica biodegradável, que passam por um processo de digestão anaeróbia transformando lixo em energia de “baixo carbono”. O procedimento metodológico, adotado a partir da perspectiva de emissão de metano em aterros, se deu a partir da aplicação do método do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC, considerando entre outros fatores dados de população. O aterro sanitário que faz referência ao Consórcio Intermunicipal de Gestão dos Resíduos Sólidos (CIGRES) da bacia leiteira atende 16 municípios do sertão e da bacia leiteira eliminando, assim, os lixões da região. O aterro apresentou prospecção de gerar 4.123.267 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> entre o período apresentado (2015 – 2050) e até 2036, a previsão é do aterro gerar 2.342.391 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>, chegando a produzir em média 114.535,2 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> ano<sup>-1</sup>.

Palavras-chave: biomassa, energia alternativa, CIGRES

### Biogas generation estimation in the sanitary land of the milk bowl of the state of Alagoas

### ABSTRACT

Alternative energy sources are the main inductor of the world energy matrix, with biofuels from biomass as their main basis. In recent decades, there has been a need to invest in alternative energies that minimize the current stage of greenhouse gas emissions, as well as to show the energy potential of biogas and the possibility of transforming methane into useful energy. Biogas is a lucrative gas and mitigates the pollution problem. Thus, the present work aimed to estimate the potential for biogas generation in the landfill in the state of Alagoas. The study to be carried out is aimed at evaluating the feasibility of the use of biodigesters for the energetic use of biogas produced by the organic matter decomposition of solid urban waste, which contain a significant amount of biodegradable organic matter that goes through a Process of anaerobic digestion transforming litter into clean energy. The methodological procedure, adopted from the perspective of methane emission in landfills, was based on the application of the IPCC method, considering, among other factors, population data. The sanitary landfill that refers to the Intermunicipal Solid Waste Management Consortium (CIGRES) of the milk basin must attend 16 municipalities in the hinterland and the milk basin, thus eliminating the dumps in the region. The landfill has a prospect of generating 4,123,267 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> between the period presented (2015 - 2050) and until 2036, the landfill will generate 2,342,391 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>, reaching an average of 114,535.2 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> year<sup>-1</sup>.

Keywords: biomass, alternative energy, CIGRES

## Introdução

O rápido desenvolvimento tecnológico e industrial e o crescimento econômico do mundo, aliados ao processo de urbanização e crescimento populacional, vêm modificando os modos de vida e aumentando o consumo, com a consequente elevação da geração de resíduos (Querino e Pereira, 2016; Miltner, 2017). Neste contexto, cada vez mais pesquisas são desenvolvidas sobre o fornecimento de energia sustentável e renovável para a sociedade e a indústria. É notório que individualmente nenhuma fonte de energia alternativa será capaz de atender a crescente demanda de energia da humanidade. Em vez disso, o sistema energético do futuro será uma combinação de várias fontes de energia renováveis e, pelo menos para as próximas décadas, ainda complementada por energia fóssil (Dupont et al., 2015).

Com isso, há a necessidade de se discutir uma matriz energética menos poluente, a qual possibilite o crescimento econômico aliado a preservação dos recursos naturais. Portanto, a diversificação da matriz energética a partir da inserção de fontes de “baixo carbono” tem efeito direto no uso dos combustíveis fósseis e, assim, contribui com a mitigação dos impactos ambientais, além de não alterar os climas locais (Bilotta e Ross, 2016; Pinãs et al., 2016).

Os aterros sanitários são considerados como alternativas mais viáveis para geração de biogás (Pedott e Aguiar, 2014; Lima et al., 2017), visto que podem dispor de técnicas de captação dos gases liberados através de dutos de captação e queima do mesmo. O biogás tem em sua composição o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o gás metano (CH<sub>4</sub>), sendo esse último o principal precursor, enquanto combustível, para utilização como fonte de energia (Cancelier et al., 2015; Pereira et al., 2015; Necker e Câmara, 2017). Estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) demonstram que cerca da metade dos mais de cinco mil municípios brasileiros lançam seus resíduos em vazadouros a céu aberto, de forma que tal situação se configura como cenário de destinação reconhecidamente inadequado, que exige soluções urgentes e estruturais para o setor (IBGE, 2010).

No Brasil, com a crise do petróleo na década de 1970, foram feitas experiências

pioneiras na utilização do biogás, chegando a canalizar o gás até as residências e indústrias. Devido à crise energética no país, estudiosos retomaram as pesquisas para produzir energia elétrica através de turbinas especiais que funcionam por meio da queima do biogás, transformando essa energia em eletricidade. O modelo de urbanização em curso no Brasil e o modelo de sociedade baseada no consumismo, resultou em sérios problemas no que se refere a produção e tratamento dos resíduos urbanos, que foram durante os últimos anos descartados na natureza, provocando impactos socioambientais irremediáveis (Vieira et al., 2015). A problemática em torno da destinação e do tratamento desses resíduos são desafios devido a sua extrema complexidade (Mazzonetto et al., 2016; Soares et al., 2017).

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos em todo o planeta e tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens não duráveis (Necker e Rosa, 2013; Ferreira et al., 2014). A captação do biogás resultante da decomposição dos resíduos orgânicos compactados em aterros é viável do ponto de vista econômico, energético e ambiental, traz redução de custos para as prefeituras e um destino nobre para o lixo (Souza Filho et al., 2018).

Implantado na zona rural de Olho D'água das Flores – AL e com uma área de 30 hectares, o aterro sanitário terá capacidade para atender um total de vinte e um municípios, contemplando uma população de mais de 249 mil habitantes, de acordo com o censo do (IBGE, 2010), o que constitui um marco relevante na destinação adequada do lixo, em consonância com a política nacional definida por meio da Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Maiello et al., 2018). O Projeto pretende ser modelo para outras regiões do estado de Alagoas. O Consórcio Intermunicipal de Gestão dos Resíduos Sólidos (CIGRES) ratifica que ao todo, esses municípios produzem aproximadamente 70,64 toneladas de lixo por dia.

Para apoiar a operação do aterro sanitário, serão instaladas também unidades de transbordo e reciclagem em pontos estratégicos da região. Além disso, o aterro conta com oito filtros, uma célula

pronta e três lagoas para início da operação. As áreas degradadas pelos lixões em cada município serão recuperadas após a implantação do aterro sanitário. Tendo como principal pressuposto o tratamento de resíduos sólidos urbanos e a utilização da biomassa para geração de energia (Arrigone et al., 2015; Dalmo et al., 2018), minimizando assim, a dependência dos combustíveis fósseis e reduzindo a necessidade de consumo de energia hidroelétrica, é que se pretende relocar o debate diante dos paradigmas enfrentados na deposição do lixo em lixões.

O aproveitamento do biogás concentrado nas montanhas de lixo de um aterro sanitário para movimentar um gerador, em caráter experimental, se fez necessário para a avaliação da tecnologia, pouco difundida, entretanto, viável no Brasil. Portanto, a modelagem dos dados a partir do panorama que será instalado no aterro sanitário no município de Olho D'água das Flores será imprescindível para fundamentar a potencialidade de geração de energia a partir do metano gerado.

Assim, o presente estudo visa estimar a quantidade de biogás que será gerada em aterro sanitário nas microrregiões do Alagoas.

## Material e métodos

### Área de estudo

O estudo foi desenvolvido inicialmente no município de Olho D'água das Flores, o aterro foi construído no sítio areia branca a cerca de 8 km da cidade em uma área de 30 ha. A precipitação anual varia de 400 a 600 mm e temperatura do ar média anual de 17 a 33 °C (EMBRAPA, 2012).

O aterro sanitário gerenciado pelo CIGRES ainda se encontra em processo de conclusão e atenderá os seguintes municípios: Olho d'Água das Flores, Santana do Ipanema, Maravilha, Senador Rui Palmeira, Carneiros, São José da Tapera, Pão de Açúcar, Belo Monte, Palestina, Jacaré dos Homens, Monteirópolis, Olivença, Major Isidoro, Cacimbinhas, Jaramataia e Batalha. Os municípios participantes do consórcio estão situados no Sertão Alagoano, mais especificamente na região denominada por Bacia Leiteira; possuem população de 249.704 habitantes (IBGE, 2010), e serão os responsáveis pelos serviços de coleta, transporte e disposição final dos resíduos sólidos que equivalem a 70,6 t d<sup>-1</sup>. A

Figura 1 retrata a divisão do estado de Alagoas, no qual pode ser visto a região onde será implantado o presente consórcio. Posteriormente, realizou-se uma análise por regiões: Sertão, Norte, Zona da Mata, Metropolitana, Sul e Agreste.

### Aplicação do método do IPCC

Dentre os métodos apresentados na literatura, o modelo desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC) tem maior aplicabilidade para estimar projeções de emissão de gases em diversos cenários a partir da especificidade de cada resíduo proveniente da biomassa residual abordada no presente trabalho. Esse método envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável, que está presente no resíduo, assim, a quantidade de metano que pode ser gerada por determinada quantidade de resíduo é calculada (Silva et al., 2017; Bianek et al., 2018).

Essa metodologia estima a emissão de gás metano em aterros sanitários em países e regiões a partir dos resíduos disponíveis. Para o cálculo, utilizam-se dados estatísticos da população e a caracterização dos resíduos sólidos urbanos, estimados a partir da degradação orgânica do carbono acessível para decomposição bioquímica. Os dados referentes à população foram cedidos pela CIGRES e a composição gravimétrica foi realizada utilizando dados do IPCC, já que não há estudos que projetem a geração destes resíduos.

A estimativa da produção de biogás foi realizada levando em consideração o volume de metano gerado em um determinado período de tempo. A equação utilizada pelo método do IPCC (1996) é a seguinte:

$$E_{CH_4} = K \cdot R_x \cdot L_0 \cdot e^{-k(X-T)} \quad (1)$$

em que:

$E_{CH_4}$  - Emissão de metano (kg CH<sub>4</sub> ano<sup>-1</sup>);

$K$  - Constante de decaimento;

$R_x$  - Fluxo de resíduos do ano (ton. de resíduo);

$L_0$  - Potencial de geração de metano (m<sup>3</sup> biogás ton<sup>-1</sup> de resíduo);

$X$  - Ano atual;

$T$  - Ano de deposição do resíduo no aterro (início de operação).

Com base na Tabela 3.3 do Módulo 5 – Resíduos, do Guia do IPCC, Volume 3: Disposição de Resíduos Sólidos, de 1996, tem-se o valor de k para clima tropical – resíduo úmido, de acordo com a composição do lixo (Tabela 1).

Papel	Orgânicos	Têxteis	Madeira	Média
k =	k = 0,17	k =	k =	k =
0,07		0,07	0,035	0,09

Fonte: IPCC (1996).

Tabela 1. Constante de decaimento (k) para diferentes tipos de Resíduos.

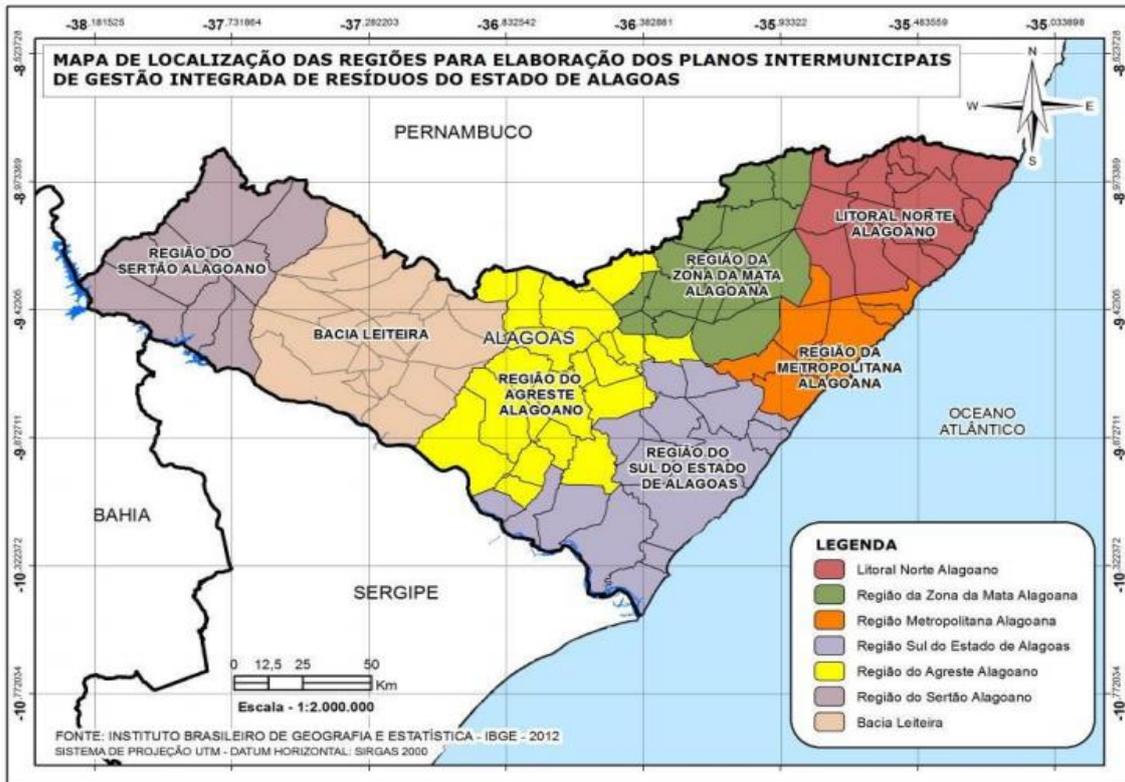


Figura 1. Microrregiões do estado de Alagoas quanto à gestão de resíduos sólidos. Fonte: SEMARH/AL/2010. Adaptado de Floram.

Um dos dados mais importantes utilizado pelo IPCC é a potência de geração de metano ( $L_0$ ). Ele é calculado de acordo com a fórmula a seguir:

$$L_0 = FCM \cdot COD \cdot COD_f \cdot F \cdot \frac{16}{12} \quad (2)$$

em que:

$L_0$  - potencial de geração de metano dos resíduos em toneladas de  $CH_4 \text{ ton}^{-1}$  de resíduo;

FCM - fator de correção de metano;

COD - carbono orgânico degradável, dado em tonelada de C  $\text{ton}^{-1}$  de resíduo;

$COD_f$  - fração de COD dissociada;

F - fração do metano presente no biogás em volume;

(16/12) - fator de conversão do carbono em metano, dado em tonelada de  $CH_4 \text{ ton}^{-1}$  de C.

A unidade do  $L_0$  calculado a partir da Equação 2 será  $\text{kg } CH_4 \text{ kg}^{-1}$  de resíduo. Portanto, para que a unidade seja transformada para  $\text{m}^3$

biogás  $\text{ton}^{-1}$  de resíduo deve-se dividir o valor de  $L_0$  por  $0,0007168 \text{ ton m}^{-3}$  (densidade do metano) resultando em  $57,63 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ ton}^{-1}$  de resíduo. Tendo como estimativa atender a uma população de 249.704 mil habitantes e tendo como base que o aterro receberá resíduos durante os próximos 20 anos, ou seja, até 2036, segundo a CIGRES, o cálculo também leva em consideração as projeções de 70.640 toneladas de matéria que será recebida pelo aterro. Portanto, considerando esses fatores a taxa de geração de resíduos usada no cálculo é de  $0,28 \text{ kg hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . A população urbana que será atendida pelo consórcio, com relação à coleta, será de 100% e todos os dejetos serão destinados ao aterro sanitário.

Com base na qualidade da compactação dos resíduos no aterro sanitário, o fator de correção do metano (FCM) pode variar e influenciar na geração do metano (Tabela 2). Variando entre 0,4 e 1,0 e considerando que o aterro será manejado de forma correta, o FCM considerado para o cálculo foi 2.

Tabela 2. Valores para o Fator de Correção de Metano (FCM).

Local de disposição	FCM
Lixão	0,4
Aterro Controlado	0,8
Aterro Sanitário	1,0
Locais sem categoria	0,6

Fonte: (IPCC, 1996).

A fração do metano representada por F varia bastante nos aterros. De acordo com Persson et al., (2017), o percentual de metano em sua composição varia entre 35 e 65%. Optou-se por adotar o valor de 40%, assumindo assim um cenário conservador.

A quantidade de carbono degradável presente nos resíduos (COD) é uma variável importante, visto que considera a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) com a quantidade de carbono presente em cada parte dos resíduos, que pode variar de acordo com sua posição geográfica conforme o potencial de geração de metano (Equação 2). A equação para o cálculo do COD é a seguinte:

$$\text{COD} = (0,40 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,40 \cdot D) + (0,30 \cdot E) \quad (3)$$

em que:

- A - fração de papel e papelão dos resíduos;
- B - fração de detritos de parques e jardins dos resíduos;
- C - fração de restos de alimentos dos resíduos;
- D - fração de tecidos dos resíduos;
- E - fração de madeira dos resíduos.

Estudos realizados por Necker e Rosa (2013) e Rezende (2015) foram tomados como base de análise para o cálculo do COD. O valor de COD é obtido a partir da composição do material depositado no aterro conforme apresentado na Tabela 3. Assim, de acordo com a utilização da equação 3 o valor de COD foi de  $0,1006 \text{ ton de C ton}^{-1}$  de resíduo.

Tabela 3. Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos por teor de CO degradável.

Componentes	Total (%)	% COD (massa)
Papel/ Papelão	6,4	40
Matéria Orgânica	48,0	15
Resíduo de poda/ jardim	5,0	17
Pano/Trapo	1,0	40
Madeira	1,0	30

Fonte: IPCC (1996). \*Excluindo a fração de lignina que se decompõe muito lentamente.

Segundo Birgemer e Crutzen (2017), a fração de COD dissociada (COD<sub>f</sub>), indica a fração de carbono que é disponível para a decomposição bioquímica, e pode ser obtida pela equação a seguir:

$$\text{COD}_f = 0,014 \cdot T + 0,28 \quad (4)$$

em que:

COD<sub>f</sub> - fração de COD dissociada [%];

T - temperatura na zona anaeróbia [°C]

Birgemer e Crutzen (2017) afirmam que a fração do carbono degradável dissociada é a fração de carbono que é disponível para a decomposição bioquímica e varia em função da temperatura na zona anaeróbia do aterro sanitário. Como o aterro está na fase de conclusão, não sendo possível medir

a temperatura na zona anaeróbica, está sendo considerada a temperatura de 35 °C, onde os autores afirmam que a disposição dos resíduos permanece nessa temperatura. Assim, a partir da aplicação da Equação 5, o fator de  $COD_f$  foi de 0,77.

A taxa anual de crescimento da população utilizada foi de 0,48%, pois é uma média das taxas de crescimento encontradas nos censos de 2000 e 2010. Foi considerando uma taxa de urbanização do município, onde há uma forte tendência de que a população urbana continue crescendo, atualmente, a taxa de urbanização encontra-se na faixa de 68,7%, conforme o Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil (2013).

Com base nos dados coletados e preestabelecidos aplicados na Equação 1, projetou-se cenários de geração de biogás a partir dos componentes presentes nos resíduos depositados no aterro sanitário.

### Resultados e discussão

Primeiro, analisou-se uma estimativa equacionada a partir da inserção de todos os tipos de resíduos de entrada (média) apresentados na Tabela 1 (Figura 2a). Nesta perspectiva, observa-se que haverá um aumento substancial na emissão de  $CH_4$  entre 2015 e 2050, com a geração de 81.225,8  $m^3 CH_4$  em 2016, cerca de 9,3  $m^3 CH_4 h^{-1}$ , chegando em 2036 a 99.110,9  $m^3 CH_4$  e em 2050 com 113.925,5  $m^3 CH_4$ . Em sua totalidade, o aterro apresentou estimativa de gerar 5.211.050  $m^3 CH_4$  no período estudado, ou seja, uma média de 144.751,4  $m^3 CH_4 ano^{-1}$  e 16,52  $m^3 CH_4 h^{-1}$ .

Outros cenários foram considerados a partir da desagregação de cada resíduo e sua constante de decaimento. O primeiro efluente a ser visto isoladamente foi à matéria orgânica (Figura 2d). Neste caso, a emissão em 2016 foi de 168.570,5  $m^3 CH_4$  com uma produção média de 199.710,9  $m^3 CH_4 ano^{-1}$ , atingindo 205.688,0  $m^3 CH_4$  em 2036, chegando ao pico em 2050 com 236.433,0  $m^3 CH_4$ . Considerando apenas a matéria orgânica, a quantidade de metano gerado poderá ser de aproximadamente 7.189.593  $m^3 CH_4$ . Vale ressaltar que a geração de metano para o componente de matéria orgânica foi maior que a média devido ao valor da constante de decaimento da matéria orgânica ser maior (Tabela 1).

Já a emissão de  $CH_4$  devido os resíduos de papel e têxtil, cuja constante de decaimento (k) é

igual, é apresentada na Figura 2c. Pode-se constatar que para o ano de 2016, a estimativa de emissão foi de 76.711,4  $m^3 CH_4$  e uma média de 90.882,5  $m^3 CH_4 ano^{-1}$ , atingindo 93.602,5  $m^3 CH_4$  em 2036, chegando a produzir 107.593,7  $m^3 CH_4$  em 2050, e um total de 3.271.771  $m^3 CH_4$  entre 2015 e 2050.

O resíduo da madeira foi o que apresentou o menor resultado na geração de  $CH_4$  (Figura 2b). Neste cenário, 39.721,93  $m^3 CH_4$  seria a quantidade de gás emitido pelo aterro no ano de 2016. Em média, seriam lançados na atmosfera 47.059,87  $m^3 CH_4 ano^{-1}$  e até 2050 1.694.155  $m^3 CH_4$ . As emissões de metano, em 2036 e 2050, atingiriam 48.468,3 e 55.713,1  $m^3 CH_4$ , respectivamente.

A estimativa de geração de biogás em aterros sanitários foi também realizada por Coelho et al. (2017) em Palmas, Tocantins. Os autores afirmam que a geração de biogás estimada para a região, considerando a biomassa residual e a população (228.332 habitantes, de acordo com o IBGE) foi de 21,47  $m^3 CH_4 h^{-1}$ . Nesse estudo realizado no aterro da bacia leiteira em Alagoas foi estimada uma geração de 15,47  $m^3 CH_4 h^{-1}$ .

Nesses resultados, considerou-se que a fração de metano presente no biogás foi 40%, mas se a fração de metano presente no biogás for aumentada para 50% a quantidade de biogás será o dobro do valor de  $CH_4$  (Silva et al., 2013), ou seja, será duas vezes a quantidade de metano obtida na Equação 1.

A tabela 4 reproduz a quantidade de metano e biogás gerado em três períodos distintos.

Tabela 4. Estimativa da geração de gás metano e biogás.

Geração de gás metano e biogás			
	2015	2035	2050
	$m^3 CH_4^{-1}$		
Metano	13,8	16,8	19,6
Biogás	27,6	33,7	39,1

Pode-se observar que a estimativa de geração de biogás foi maior que a de metano nos três períodos analisados e tem uma perspectiva de geração de 39,1 e 19,5  $m^3 CH_4$ , respectivamente

para biogás e metano, um aumento de 41,7% em comparação ao ano de 2015.

Com base nas equações de geração e potência de energia (Equações 2 e 3), foi calculado

o potencial de geração de energia por meio do biogás apresentada na Tabela 5.

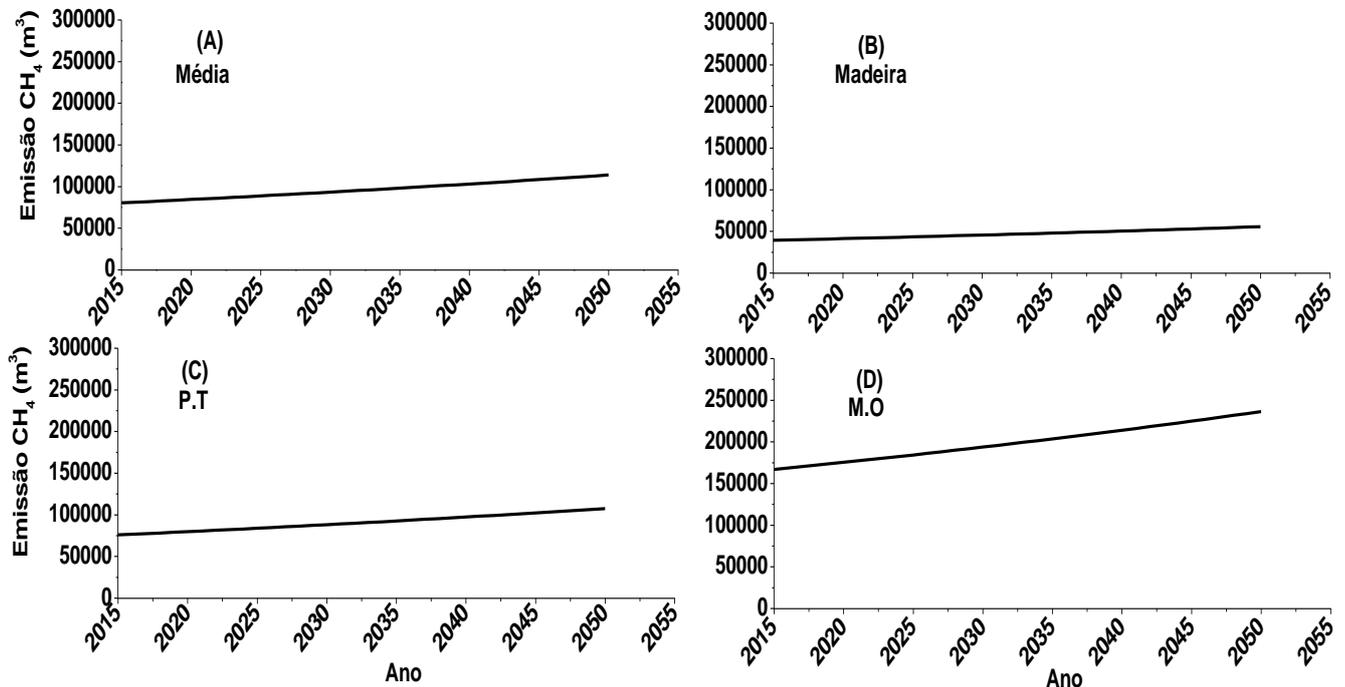


Figura 2. Estimativas de emissão de metano para os anos de 2015 até 2050 no aterro sanitário situado em Olho D'água das Flores, sendo (A) Média de todos os resíduos; (B) Madeira; (C) Papel e Têxtil; e (D) Matéria Orgânica.

Tabela 5. Potencial de geração de energia.

Ano	MWh d <sup>-1</sup>
2015	0,413
2035	0,504
2050	0,585

Pode-se observar que a estimativa do potencial de geração de energia por meio do biogás foi 0,413 MWh d<sup>-1</sup> para o ano de 2015 e uma perspectiva de 0,585 MWh dia<sup>-1</sup> para o ano de 2050, um aumento de 41,6%.

A quantidade de resíduo é o principal parâmetro para estimar a geração de biogás. Para fomentar esse comportamento de geração de gás, se faz necessário atrelar a política dos aterros à instalação de cooperativas de reciclagem para que apenas a biomassa chegue à destinação final.

Diante da necessidade de investimentos para reversão da atual matriz energética e o cuidado com

o tratamento dos resíduos provenientes da biomassa, para minimizar os impactos no meio ambiente, são fundamentais enquanto política ambiental e de energia. A realização de pesquisas que fomentem projetos de aproveitamento de biogás e conversão dos rejeitos aliado a um gerenciamento de inorgânicos devem estar aliados na perspectiva de criar uma plataforma que equacione maiores impactos positivos, seja em patamares econômicos, sociais e, ou ambientais.

O Estado de Alagoas foi dividido em sete regiões para a implantação dos consórcios, sendo estimado o CH<sub>4</sub> gerado nesses aterros para o comparativo de potencial desses aterros no tocante a emissão de metano no mesmo período de operação da Bacia Leiteira.

Na Figura 3, está disponível o potencial de geração do metano sendo identificadas como: Sertão (A), Norte (B), Zona da mata (C), Metropolitana (D), Sul (E) e Agreste (F).

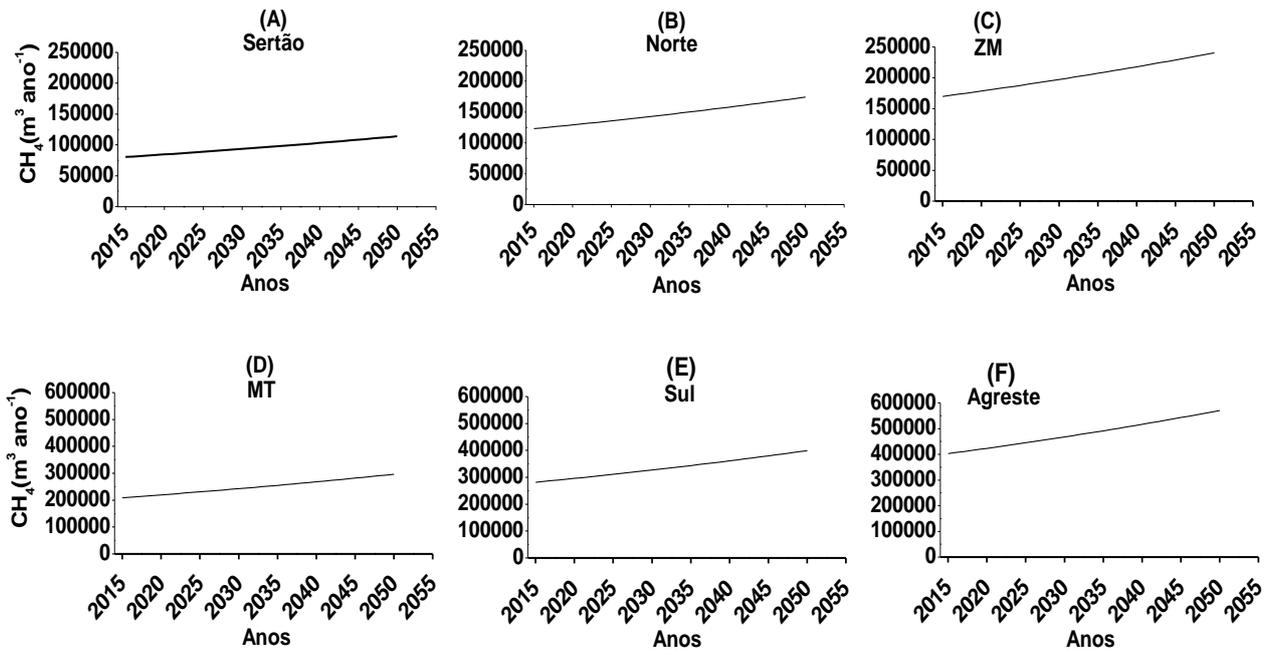


Figura 3. Estimativa de produção de metano ( $CH_4$ ,  $m^3 \text{ ano}^{-1}$ ) para os aterros sanitários nas regiões (A) Sertão, (B) Norte, (C) Zona da mata, (D) Metropolitana, (E) Sul e (F) Agreste no Estado de Alagoas.

Dentre as regiões analisadas, o aterro localizado no agreste (Figura 3f) apresentou o maior potencial de geração de metano, pouco superior a  $400.000,0 m^3 CH_4$  para o ano de 2016 com perspectiva de aproximadamente  $550.000,0 m^3 CH_4$  no ano de 2050, um aumento de 37,5%. Enquanto que o Sertão (Figura 3a) apresentou o menor potencial de geração de metano, pouco superior a  $70.000,0 m^3 CH_4$  para o ano de 2016, com perspectiva de aproximadamente  $120.000,0 m^3 CH_4$  no ano de 2050, um aumento de 71,4%.

Conforme a Tabela 6, pode-se obter o quantitativo de geração do metano total e médio nos aterros sanitários em Alagoas.

Tabela 6. Projeções de  $CH_4$  ( $m^3 \text{ ano}^{-1}$ ) nas seis regiões do estado de Alagoas (2015 – 2050).

REGIÃO	Total	Média
Sertão	3.464.312	96.230,9
Norte	530.484,6	147.356,8
Zona da Mata	7.325.405	203.483,5
Metropolitana	9.026.826	250.745,2
Sul	12.150.729	337.520,3
Agreste	17.374.801	482.633,4
Total	49.872.557,6	1.517.970,1

Tendo como base os dados referentes à produção de biogás, possibilitou projetar a geração de energia elétrica nos anos de 2015 e 2050, respectivamente, conforme a Tabela 7.

Tabela 7. Geração de energia ( $MWh \text{ d}^{-1}$ ) nos aterros sanitários de Alagoas.

REGIÃO	2015	2050
Sertão	0,274	0,389
Norte	0,420	0,595
Zona da Mata	0,580	0,822
Metropolitana	0,715	0,921
Sul	0,963	1,364
Agreste	1,377	1,951
Total	4,329	6,042

Nessa perspectiva, a região com o maior potencial para gerar  $CH_4$  é o Agreste do Estado com  $17.374.801,0 m^3 \text{ ano}^{-1}$  (34,8% de todo o estado) e média de  $482.633,4 m^3 \text{ ano}^{-1}$ , enquanto que o Norte apresentou menor potencial com  $530.484,6 m^3 \text{ ano}^{-1}$  (1,06% de todo o Estado) e média de  $147.356,8 m^3 \text{ ano}^{-1}$  (Tabela 6). O mesmo foi observado para a estimativa de geração de energia, sendo o Agreste a região de maior geração de energia com  $1,377 MWh \text{ dia}^{-1}$  (31,8% de todo o estado) e média de  $1,951 MWh \text{ d}^{-1}$ , enquanto o

Sertão foi a região de menor geração com 0,274 MWh dia<sup>-1</sup> (6,3% de todo o estado) e média de 0,389 MWh d<sup>-1</sup> (Tabela 7). Comparado com a

## Conclusões

A operação dos aterros sanitários em Alagoas a partir da implementação dos consórcios intermunicipais, não irá apenas atender a legislação, mais viabilizar uma saída a curto e médio prazo para resolver os problemas inerentes ao descarte dos resíduos.

A mitigação dos impactos no meio ambiente a partir da deposição adequada dos resíduos e, a consequente minimização da emissão de gases é um fator primordial em um momento de intensas discussões sobre a necessidade de superar a matriz energética baseada, quase que exclusivamente, no petróleo.

O modelo do IPCC apresentou aplicabilidade, de forma a permitir obter projeções em que os aterros ainda não se apresentassem funcionando. Nesse contexto, aplicou-se a mesma metodologia para criar cenários futuros para as demais regiões.

Portanto, os aterros apresentam potenciais de geração de energia propiciando melhor aproveitamento dos gases emitidos pelos resíduos. O aterro sanitário da Bacia Leiteira esboça para o interior do Estado uma referência no padrão do tratamento dos resíduos lançados *in natura* no ambiente, seja rural ou urbano.

## Agradecimentos

O autor agradece a coordenação e todos os professores do Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Energia da Biomassa da Universidade Federal de Alagoas.

## Referências

Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil, 2013. Ministério de Meio Ambiente. Aproveitamento energético do biogás de aterro sanitário. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

Arrigone, G.M.; Mutti, C.N.; Librelotto, L.I.; Ferroli, P.C.M. 2015. Geração de energia a partir de resíduos urbanos: coleta e tratamento,

região da bacia leiteira, o aterro do agreste terá três vezes maior potencialidade também de produzir energia elétrica (Tabela 7).

exemplos do norte da Itália. Mix Sustentável 1, 10-24.

Bianek, J.; Schirmer, W.N.; Cabral, A.R.; Mayer, C.L.D.; Eurich, P.H.M.; Martins, E.H. 2018. Comparação entre metodologias usepa e ipcc para estimativa teórica de produção de biogás em aterro municipal. BIOFIX Scientific Journal, 3, 34-40.

Bilotta, P; Ross, B.Z.L. 2016. Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos. Engenharia Sanitária e Ambiental (Online), 21, 275-282.

Birgemer, H.G.; Crutzen, P.J. 1987. The production of methane from solid wastes. Journal of geophysical research, Washington 92, 2181-2187. Disponível: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/JD092iD02p02181>> Acesso: 20 mar. 2017.

Cancelier, A.; Soto, U.P.D.; Costelli, M.C.; Lopes, T.J.; Silva, A. 2015. Avaliação da produção de biogás de dejetos de suínos utilizando a metodologia de superfície de resposta. Engenharia Sanitária e Ambiental (Online), 20, 209-217.

Coelho, T.C.; Alencar, R.; Oliveira, R.M.S. 2011. Estimativa da produção teórica do metano gerado no aterro sanitário de Palmas - TO. Fórum Ambiental da Alta Paulista 7, 1458-1470. Disponível: <[http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/214/213](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/214/213)>. Acesso: 20 mar. 2017.

Dalmo, F.C.; Simão, N.M.; Nebra, S.; Sant'ana, P. H.M. 2018. Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: experiência das políticas públicas brasileiras e internacional. Revista Brasileira de Energias Renováveis 7, 39-50.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2012. Climatologia do Estado de Alagoas. Embrapa Solos. Disponível: <<https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/950797/climatologia-do-estado-de-alagoas>>. Acesso: 5 março 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível:

- <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?>>. Acesso: 12 maio 2014.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996. Guia para inventários nacionais de gases de efeito estufa. Módulo 6: Lixo. Volume 2: Livro de trabalho. Disponível: <[http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gl/inv\\_s6.html](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gl/inv_s6.html)>. Acesso: 14 set. 2015.
- Dupont, F.H.; Romitti, L.; Grassi, F. 2015. Energias renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 19, 70-81.
- Ferreira, E.M.; Cruvinel, K.A.S.; Costa, E.S. 2014. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos: diagnóstico da gestão do Município de Santo Antônio de Goiás. Revista Monografias Ambientais, 14, 3401-3411.
- Lima, A.; Borba, E.O.R.; Oliveira, I.C.B.; Gonzaga, N.V.M.; Martins, P.F.; Santos, R.M.; Campos, F. 2017. Análise da recuperação energética do biogás de aterros sanitários. Revista InterfacEHS, 12, 68-81.
- Maiello, A.; Britto, A.L.N.P.; Valle, T.F. 2018. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Análise das lacunas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. RAP. Revista Brasileira de Administração Pública, 52, 24-51.
- Mazzonetto, A.W.; Rocha, D.C.; Oliveira, D.F.G.; Silva, P.L. 2016. Avaliação do potencial energético do resíduo sólido urbano de Piracicaba para produção de biogás. Bioenergia em Revista: Diálogos, 6, 47-75.
- Miltner, M.; Makaruk, A; Harasek, M. 2017. Review on Available Biogas Upgrading Technologies and Innovations Towards. Journal of Cleaner Production, 161, 1329-1337.
- Necker, H.S.; Câmara, P.T. 2017. Estimativa Teórica da Geração de Biogás em Aterros Sanitários. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, 16, 356-363.
- Necker, H.S.; Rosa, A.L.D. 2013. Estimativa teórica da geração de biogás do futuro aterro sanitário de Ji-Paraná - RO. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 17, 3416-3424.
- Pedott, J.G.J.; Aguiar, A.O. 2014. Biogás em aterros sanitários: comparando a geração estimada com a quantidade validada em projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo. Holos, 4, 195-211.
- Pereira, M.S.; Godoy, T.P.; Godoy, L.P.; Bueno, W.P.; Wegner, R.S. 2015. Energias renováveis: biogás e energia elétrica provenientes de resíduos de suinocultura e bovinocultura na UFSM. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 19, 239-247.
- Persson, M.; Jönsson, O.; Wellinger, A. 2006. Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection: IEA Bioenergy. Energy from Biogas and Landfill Gas. Vienna. Disponível: <[http://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading\\_report\\_final.pdf](http://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading_report_final.pdf)>. Acesso: 20 mar. 2017.
- Piñas, J.A.V.; Venturini, O.J.; Lora, E.E.S.; Oliveira, M.A.; Roalcaba, O.D.C. 2016. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). Revista Brasileira de Estudos de População – REBEP, 33, 175-188.
- Querino, L.A.L.; Pereira, J.P.G. 2016. Geração de resíduos sólidos: a percepção da população de São Sebastião de Lagoa de Roça, Paraíba. Revista Monografias Ambientais, 15, 404-415.
- Rezende, A.B. 2015. Avaliação do potencial energético e econômico do tratamento, destinação e reutilização de resíduos sólidos urbanos (RSU). Conexão ciência (online), 10, 93-125.
- Silva, F.M.S.; Oliveira, L.B.; Mahler, C.F.; Bassin, J.P. 2017. Avaliação da produção de hidrogênio a partir da codigestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e glicerol residual da produção de biodiesel. Química nova, 40, 523-527.
- Silva, T.N.; Freitas, F.; Candiani, G. 2013. Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte. Engenharia Sanitária e Ambiental, 18, 95-104.
- Soares, F.R.; Seo, E.S.M.; Martins, G. 2017. Desempenho ambiental da destinação e tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na central de tratamento de resíduos - Caieiras. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 22, 993-1003.
- Souza Filho, J.D.V.; Lima, A.C.A.; Stefanutti, R.; Silva, W.M.B.; Bastos-Neto, M.; Vilarrasa-Garcia, E.; Loiola, A.R.; Mota, F.S.B. 2018.

Zeólita 4A para purificação do gás de aterro sanitário. *Química nova (online)*, 41, 100-104.  
Vieira, G.E.G.; Campos, C.E.A.; Teixeira, L.F.; Colen, A.G.N. 2015. Produção de biogás em

áreas de aterros sanitários: uma revisão. *Revista Liberato (Novo Hamburgo)*, 16, 101-220.