

Estimativa do potencial energético proveniente do biogás gerado em aterro sanitário no Ceará

Estimation of the energy potential from biogas generated in a landfill in Ceará

Resumo

A produção de energia a partir do biogás, resultante do lixo em aterros sanitários, é um modo de geração de energia elétrica renovável, diminuindo os impactos causados ao meio ambiente pela combustão dos resíduos sólidos urbanos. Diante disso, foi realizada uma análise e estimativa do potencial energético a partir do biogás produzido em um aterro sanitário localizado no Ceará, como alternativa para suprir a demanda energética da população. O estudo de caso foi realizado com base na estimativa de metano e biogás produzidos no Aterro Sanitário Metropolitano do Oeste de Caucaia (ASMOC). Para calcular o potencial energético do aterro utilizaram-se modelos matemáticos, segundo a metodologia indicada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Os resultados mostraram que, para o aterro analisado, o estudo é viável, podendo utilizar a energia gerada em 426 residências durante um ano. Conclui-se, portanto, que o aterro ASMOC possui potencial na geração de energia, sendo uma solução eficiente para a redução da emissão de gases do efeito estufa gerada no aterro.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos; Gás metano; Energia.

Abstract

The production of energy from biogas resulting from waste in landfills is a way of generating renewable electric energy, reducing the impacts caused to the environment by the combustion of solid urban waste. Therefore, an analysis and estimate of the energy potential from biogas produced in a landfill located in Ceará were carried out, as an alternative to supply the population's energy demand. The case study was based on the estimate of methane and biogas produced at the Metropolitan Landfill of Western Caucaia (ASMOC). To calculate the energy potential of the landfill, mathematical models were used, according to the Intergovernmental Panel on Changes Climate Change (IPCC) methodology. The results showed that for the analyzed landfill, the study is feasible, being able to use the generated energy in 426 residences during one year. Therefore, it is concluded that the ASMOC landfill has potential in the generation of energy, being an efficient solution for the reduction of the emission of greenhouse gases generated in the landfill.

Keywords: Solid waste; Methane gas; Energy.

Maria Jorgiana Ferreira


Dantas 

jorgianaferreira@hotmail.com

Instituto Federal do Pará

(IFPA)

José Wémenson Rabelo

Chaves 

wemensonrabelo@gmail.com

Universidade Federal do

Ceará (UFC)

Roberta Oliveira Roque

Pires

roberta.ro.que@hotmail.com

Universidade de Fortaleza

(UNIFOR)

1 Introdução

O crescimento demográfico faz com que a quantidade de lixo produzida cresça, aumentando assim o volume de lixo produzido. A partir daí, crescem as preocupações em relação ao destino final dos resíduos, buscando alternativas que diminuam os problemas relacionados ao meio ambiente e à saúde pública (CARVALHO e FERRAZ, 2007).

A maior parte do lixo é composta de matéria orgânica, que ao entrar em decomposição gera gás carbônico (CO₂) e metano (CH₄), substâncias que compõem os Gases de Efeito Estufa (GEE). Desse modo, compreende-se que a forma de emissão de gases para a atmosfera, através dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), pode ser explicada pelo descarte do lixo em aterros sanitários (PIRES, 2017).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2012), o CO₂ é o gás que mais contribui para o aquecimento global, correspondendo a 55% do lançamento mundial de gases do efeito estufa, já o CH₄ possui porcentagem bem menor, porém, sua capacidade de aquecimento é 21 vezes maior que o CO₂.

Compreendendo que o efeito estufa colabora para o aumento da temperatura global, fenômeno esse que ocorre na superfície terrestre a partir da emissão dos raios solares, apresenta-se, portanto, dois destinos no quais: uma parcela é absorvida pelo planeta e convertida em calor; enquanto a outra parte é incidida e lançada ao espaço na forma de raios ultravioleta (PIRES, 2017).

Levando em consideração esse fenômeno, verifica-se a problemática relacionada aos RSU, que demanda um tratamento especial pelo fato de serem ofensivos aos recursos da natureza e à saúde da humanidade.

Além disso, a utilização de combustíveis fósseis, demasiadas atividades industriais e desmatamentos, certificam que as ações humanas levam ao efeito estufa, apresentando uma série de resultados negativos no contexto ambiental, social e econômico do país. Ademais, compreende-se que o Efeito Estufa é um problema universal que envolve os recursos da natureza no qual são limitados (CARVALHO e FERRAZ, 2007).

Diante disso, este trabalho tem por objetivo analisar e estimar o potencial energético que pode ser gerado a partir do biogás produzido no Aterro Sanitário Metropolitano do Oeste de Caucaia (ASMOC), como alternativa para suprir a demanda energética da população.

2 Fundamentação Teórica

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), são considerados resíduos sólidos os materiais que apresentam estado semissólido e sólido, resultantes de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição. Entram nesta explicação os lodos oriundos dos sistemas de tratamento de águas, assim como alguns líquidos que são impróprios para serem lançados na rede de esgotos.

Os resíduos possuem uma grande diversidade e complexidade, na qual suas características físicas, químicas e biológicas diferem conforme a fonte ou prática geradora (PIRES, 2017), sendo classificados conforme a Tab. 1.

Tabela 1 – Classificação dos resíduos sólidos.

Classificação	Descrição
Resíduos sólidos urbanos	Divididos entre materiais recicláveis e matéria orgânica.
Resíduos da construção civil	Gerados nas construções, reformas, reparos e demolições ou preparação de terrenos para obras.
Resíduos com logística reversa obrigatória	Pilhas e baterias; pneus; lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; produtos eletroeletrônicos e seus componentes; entre outros a serem incluídos.
Resíduos industriais	Gerados nos processos industriais.
Resíduos sólidos do transporte aéreo aquaviário	Gerados pelos serviços de transportes, acrescidos de resíduos sépticos que podem conter organismos patogênicos.
Resíduos de serviços de saúde	Gerados em qualquer serviço de saúde.
Resíduos sólidos de mineração	Gerados em qualquer atividade de mineração.
Resíduos sólidos agrossilvopastoris	(Orgânicos e inorgânicos): dejetos da criação de animais; resíduos associados a culturas da agroindústria bem como da silvicultura; embalagens de agrotóxicos, fertilizantes e insumos.

Fonte: PIRES, (2017).

Conforme *Conto et al. (2004)*, alguns fatores provocam a origem e a produção dos resíduos sólidos no meio urbano, tais como, quantidade populacional, mudanças nas estações do ano, hábitos da população, grau educacional, variações climáticas, condições financeiras e competência na coleta de resíduos. Salienta-se, porém, que um dos principais fatores está relacionado com as condições financeiras da população.

De acordo com *Ferreira (2003)*, uma das grandes dificuldades encontradas pela administração pública é o controle dos resíduos sólidos urbanos, bem como sua destinação final apresentada uma dificuldade que tende a aumentar com o tempo. Assim, mesmo que várias práticas para a recuperação de RSU tenham dado certo, o lixo gerado pela sociedade não faz frente à quantidade de lixo reaproveitado.

2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

De acordo com *BRASIL (2010)* e *ICLEI (2009)*, a Lei nº 12.305/10 instruiu uma Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual apresenta uma visão atual e indica os avanços que são necessários para o país amenizar os problemas ambientais, sociais e econômicos, provenientes do manejo inapropriado dos resíduos sólidos. Essa lei engloba iniciativas públicas e privadas e abrangem todos os resíduos sólidos e rejeitos que podem ser reciclados ou reaproveitados - como os resíduos domésticos, industriais, eletroeletrônicos, comerciais -, incentivando o descarte correto e de maneira compartilhada.

Ademais, tal lei prevê a diminuição na geração de resíduos, possuindo como posição a prática de hábitos de consumo sustentável, visando à ampliação numa série de processos de mudanças ou tratamentos para reutilização dos resíduos sólidos, adotando metas que irão auxiliar a retirada dos lixões existentes e estabelecer instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal, metropolitano e municipal, visando o gerenciamento de resíduos sólidos (*BRASIL, 2010; ICLEI, 2009*).

Contudo, segundo *Pires (2017)*, um dos objetivos desse instrumento trata-se da obtenção, por parte do Brasil, quanto às metas do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, no qual o foco seria alcançar a taxa de 20% a mais de reciclagem até o ano de 2015 (meta essa que não foi cumprida).

2.2 Biogás

O biogás é uma fonte de energia renovável, resultado da decomposição de material orgânico, a partir do trabalho de microrganismos (bactérias) que convertem esse material em gases e em um potencial energético. O seu uso diminui a possibilidade de emissão de dois gases do efeito estufa, são eles o metano e o dióxido de carbono (*KARLSSON et al., 2014*).

A constituição química do biogás está relacionada às condições socioeconômicas, culturais e históricas do município. Nesse contexto, a produção e a composição do biogás vão variar de acordo com o material a ser degenerado e do andamento da atividade energética (*KARLSSON et al., 2014*).

De acordo com *Oliveira (2009)*, normalmente o biogás bruto é constituído principalmente por uma mescla de gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Já em menores quantidades tal biogás é também constituído por gases como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), amônia (NH_3), oxigênio (O_2), água (H_2O), monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H_2) e nitrogênio (N_2), no qual o metano age como gás majoritário, possuindo um relevante valor energético. Diferentemente, o biogás livre de impurezas (purificado) é integrado apenas por metano (CH_4), podendo vir a ser utilizado como energia veicular.

Além de possuir pouca densidade ou Poder Calorífico (PC), o biogás é resultado da concentração de metano, ou seja, quanto mais concentrado for, mais leve será o gás. O PC é utilizado para determinar o potencial teórico de energia contido nos combustíveis, e em relação ao biogás, apresenta o peso específico de aproximadamente 70% de gás metano, equivalente a $6,5\text{kWh/m}^3$ (*LIMA, 2010*).

O biogás tem como combustível o gás metano. Desse modo, quanto maior for a quantidade de metano, mais puro será o gás, assim, maior será sua facilidade para produzir calor (*MAFACIOLLI, 2012*).

2.3 Digestão anaeróbia

Conforme Lopes (2016), a decomposição da matéria orgânica é um sistema que acontece no meio natural por microrganismos, podendo ser aeróbicos, anaeróbicos ou facultativos. Desse modo, microrganismos anaeróbicos conseguem aumentar na falta de oxigênio.

Em concordância com Oliveira (2009), a digestão anaeróbia engloba a consolidação da matéria orgânica, ocasionando a produção do gás metano e materiais inorgânicos, além de ter como uma das vantagens dessa digestão a diminuição de lixo e de adubo orgânico.

O objetivo central da digestão anaeróbia constitui-se na retirada da matéria contaminante, diminuição de microrganismos patogênicos, geração de biogás e subprodutos obtidos com a fermentação anaeróbica. Admite-se, portanto, que os microrganismos exercem em conjunto a modificação da matéria orgânica em água, gás sulfídrico, metano, gás carbônico e amônia (CHERNICHARO, 2007).

2.4 Matriz energética

A investigação por diferentes fontes de energia tornou-se uma prerrogativa desafiadora mundialmente. O ciclo de consumo por fontes energéticas, onde o petróleo e outros combustíveis têm valor expressivo, espelha-se no conjunto de diversos tipos de energias geradas e empregadas em um país com consumo em energia primária. No mundo contemporâneo, em especial aos países com maior quantidade de industrialização, nota-se a dependência a variadas fontes de energias para a continuidade do abastecimento das suas zonas industriais e núcleos populacionais (VENTURA FILHO, 2009).

Pensando nisso, tem-se que o Brasil apresenta uma das matrizes energéticas mais variadas e equilibradas do mundo. Na Tabela 2, a seguir, observa-se a oferta interna de energia no Brasil para os anos de 2014 e 2015, em que os derivados do petróleo continuam com o maior consumo de energia no país, mesmo com o aumento da utilização de energias renováveis.

Tabela 2 – Oferta interna de energia com variação em Mtep no Brasil.

Fonte	Ano 2014	Ano 2015
Renováveis	120,5	123,2
Energia hidráulica	35,0	33,9
Biomassa da cana	48,2	50,6
Lenha e carvão vegetal	24,9	24,5
Lixívia e outras renováveis	12,4	14,2
Não-renováveis	185,1	176,0
Petróleo e derivados	120,3	111,6
Gás natural	41,4	41,0
Carvão mineral	17,5	17,7
Urânio	4,0	3,9
Outras não-renováveis	1,8	1,8

Fonte: Adaptado de BRASIL (2014). Mtep (milhões toneladas equivalente de petróleo)

Conforme Castro (2016), em relação à estabilidade do planeta, é válido afirmar que, de alguma maneira e em algumas categorias, qualquer forma de geração de energia prejudica o planeta e o meio ambiente, visto que todas são decorrentes da mudança de recursos oriundos da natureza. Mesmo que esses impactos sejam prejudiciais, é necessário continuar gerando energia para suprir o crescimento dos habitantes e suas necessidades.

2.4.1 Matriz energética cearense

Nas últimas décadas, o Ceará tem investido no ramo de energias sustentáveis. Dessa forma, estudos sobre a matriz energética são fundamentais para que possamos entender, pesquisar e analisar a respeito dessas fontes alternativas. Conforme Pinheiro; Carvalho e Freitas (2009), o Estado apresenta projetos para produção de energia elétrica, por meio de fontes eólicas, usinas solares e térmicas, além de uma central geradora solar fotovoltaica (UFV).

Além dessas fontes, outra fonte de energia renovável vem crescendo no Ceará, a de gás natural renovável. O Estado construiu, no final do ano 2017, uma unidade de captação que recolheu e realizou o tratamento do biogás fornecido no Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC) com início na separação do lixo gerado em Fortaleza e sua região metropolitana (PIRES, 2017).

De acordo com o Grupo Gran Marquise (2016), a estação de tratamento do biogás possui potencial para gerar 150.000 m³/dia de biometano, permanecendo a segunda maior unidade de captação do país, já que a primeira é a Termoverde Caieiras, na grande São Paulo, e é considerada uma das maiores do mundo, segundo afirma a Guimaraes *et al.* (2017).

Conforme Pires (2017), o ASMOC é a primeira unidade do Ceará que capta e realiza o tratamento do biogás. Por meio de um acordo entre a Prefeitura de Caucaia e Governo do Estado do Ceará, o gás metano, originado pelos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e depositado no ASMOC, é convertido e produzirá setenta mil metros cúbicos de biometano por dia, sendo capaz de produzir 150 mil m³/dia.

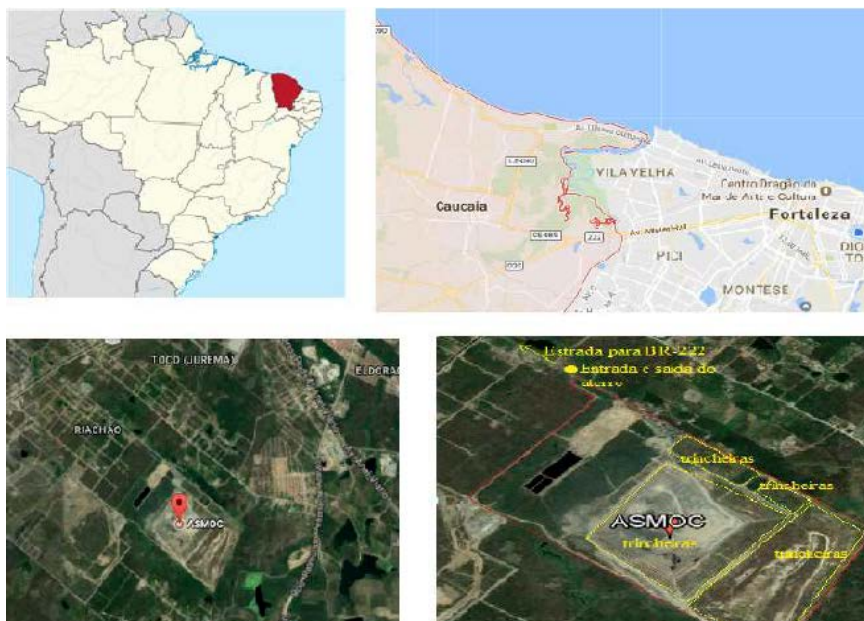
3 Método de pesquisa

3.1 Área de estudo

O Aterro Sanitário Municipal do Oeste de Caucaia (ASMOC) localizado próximo à BR 020, no município de Caucaia - Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) -, possui um formato retangular com uma área de 123 ha (hectares) e é limitado pelos paralelos 3° 45' e 3° 47' de longitude Sul e pelos meridianos 38° 43' e 38° 45' de longitude Oeste. A região que comporta o lixo possui 78, 47 hectares, sendo dividida em 17 setores e subdividida em 67 trincheiras, em sua maioria com largura de 70m e comprimento de 100m, conforme o projeto inicial do aterro, no qual o mesmo possui capacidade para receber 16 mil toneladas/mês com vida útil em torno de 15 anos (BRILHANTE, 2006).

Sendo a coleta de lixo domiciliar realizada normalmente três vezes por semana nos bairros, é efetuada através de compactadores, microcoletores, garis comunitário ou moto garis, de acordo com o local. Atualmente o município apresenta sistemas diferenciados de coleta e de transporte para os resíduos domiciliares e comerciais, resíduos públicos, resíduos da construção civil, resíduos de serviços de saúde, resíduos industriais (grandes geradores) e outros resíduos. A Figura 1 representa a localização e a delimitação do aterro estudado.

Figura 1 – Localização do ASMOC na cidade de Caucaia - CE.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pro (2017).

3.2 Método IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

Existem distintos métodos para calcular a quantidade de metano gerado em aterros sanitários, desde os que apresentam uma aproximação considerando somente a quantidade de resíduo sólido doméstico no aterro, até métodos que considerem uma cinética de geração de biogás em função de três tipos de parâmetros (condições climáticas locais, concentração de nutrientes no solo e composição do resíduo). Assim, algumas metodologias para estimativas teóricas da produção de gás metano em locais de deposição de resíduos sólidos urbanos são encontradas na literatura. Esses métodos variam em suas considerações, em sua complexidade e na quantidade de dados de que necessitam (CETESB, 2003).

O método proposto pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006) é uma metodologia de fácil aplicação para cálculo de emissão de metano a partir de resíduos sólidos para países ou regiões específicas. De acordo com Mendes e Magalhães Sobrinho (2005), a metodologia do Inventário do IPCC é adequada somente para utilização em aterros ativos, uma vez que não leva em consideração o metano gerado após encerrar o recebimento de resíduos. Portanto, considerando entre outros fatores o fato de estar em pleno funcionamento (ativo) durante o ano de realização desse estudo, esse método foi escolhido para estimar a geração de metano produzido no aterro sanitário em questão (ASMOC)

Utilizaram-se dados entre os anos de 1998 (início das operações no aterro), 2018 (início do processo de despejo de uma célula menor para uma maior no aterro), além de dados estatísticos da população e propriedades dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

3.2.1 Estimativa da produção de gás metano e biogás

Para o cálculo da emissão de gás metano, utilizou-se a Eq. 1.

$$LFG = K \times Rx \times L_0 \times e^{-k(X-T)} \quad (1)$$

Em que LFG é a emissão de metano (m³ de CH₄/ano), k a constante de decaimento, calculado pela média aritmética dos valores de decaimento (Ver Tab. 3), Rx é o fluxo de resíduos no ano (tonRSD) (Ver Tab. 4), L₀ o potencial de geração de metano (m³ de biogás/tonRSD), x é o ano final (2017) e T o ano de deposição do resíduo no aterro (estudo iniciado em 1998). Para determinar o (L₀), utiliza-se a Eq. 2.

Tabela 3 – Valores para a constante de decaimento (k).

Tipos de resíduos	Clima tropical úmido (Temperatura > 20°C)
Papel	0,07
Madeira e palha	0,035
Alimentos orgânicos e vegetais	0,17
Tecidos	0,07

Fonte: Adaptado de IPCC, 2006.

Os valores de Rx estão relacionados com o fluxo de resíduos, ou seja, a quantidade de resíduos depositados no aterro durante o período estudado. Para o local em estudo foram obtidos os valores disponibilizados pela Fortaleza (2017). Os dados são relacionados para os anos 1998 a 2018, no qual foi feito uma estimativa para o ano de 2018, multiplicando-se a quantidade de resíduos sólidos depositados diariamente, vezes a quantidade de dias do mesmo ano, conforme ilustra a Tab. 4.

Tabela 4 – Deposições anuais no ASMOC até o final de 2018.

Ano	Resíduos sólidos totais depositados em t/ano
1998	1.065.169
1999	1.012.934
2000	1.113.743
2001	1.055.160
2002	1.004.630
2003	864.737
2004	739.067
2005	944.083
2006	1.062.288
2007	1.188.843
2008	1.186.655
2009	1.436.782
2010	1.213.577,86
2011	1.474.194
2012	1.674.182
2013	1.749.711,68
2014	1.876.564,63
2015	1.947.980
2016	1.744.483,81
2017	1.618.939,76
2018	1.830.000

Fonte: Fortaleza, 2017.

$$L_0 = MCF \times DOC \times DOC_f \times F \times 16/12 \quad (2)$$

Sabendo, portanto, que o MCF é o fator de correção do metano, DOC a fração de carbono orgânico degradável no lixo (valor a ser encontrado na Eq. 3), DOC_f é a fração de DOC que pode se decompor, F é a fração de metano presente no biogás e 16/12 é a conversão de carbono para metano (CH_4), tem-se que para que essa unidade seja transformada em m^3 biogás/tonRSD é preciso dividir o valor de L_0 por 0,0007168 ton/ m^3 (densidade do metano).

$$DOC = \sum(DOC_i \times W_i) \quad (3)$$

Sabendo, então, que DOC é a fração de carbono orgânico degradável no lixo em que é dado em tonelada de carbono, conforme guia do IPCC (ver Tab. 5) tem-se que DOC_i é a fração de carbono degradável no tipo de resíduo i , e W_i a fração do tipo de resíduo i por categoria do resíduo, representado de acordo com a análise gravimétrica dos elementos presentes no lixo: material orgânico, papel, vidros e outros.

Tabela 5 – Teor de carbono orgânico degradável para cada componente do lixo.

Tipos de material	Composição gravimétrica (%)
Tecidos	24
Resto de alimentos e bebidas	15
Madeira	43
Papel e papelão	40
Borracha	39
Resíduos de parques e jardins	17
Fraldas	24

Fonte: Adaptado de IPCC, 2006.

Os valores referentes à W_i (fração do tipo de resíduo degradável no lixo) obtiveram-se com os dados da análise gravimétrica a partir dos resíduos sólidos do ASMOC em porcentagem de cada componente em relação ao peso total dos resíduos. Vale ressaltar, que foi levado em consideração no presente estudo o cálculo referente a papel/papelão e matéria orgânica, considerando-se o valor de 1,54% para a madeira.

Vale salientar que a composição gravimétrica realizada em 2009 foi utilizada para o restante dos anos, uma vez que não foi disponibilizada uma tabela mais atualizada. O histórico de deposições anuais de lixo no ASMOC deu-se até o final do ano de 2018, período em que foi iniciado o processo de despejo em uma célula maior no aterro. A Tabela 6 mostra os dados da análise gravimétrica encontrada nos resíduos sólidos do ASMOC.

Tabela 6 – Composição gravimétrica dos RSU depositados no ASMOC no ano de 2009.

Tipo de material	Composição gravimétrica (em %)
Matéria orgânica	47,7
Papel/papelão	14,2
Plásticos	7,85
Vidros	2,1
Metais	3,3
Trapos	3,2
Borracha	3
Madeira	2,2
Outros	6,4

Fonte: Adaptado de Santos e Mota (2010).

A fração de DOC, citada na Equação 1, pode ser dissociada por DOC_p , que representa a fração de carbono disponível durante a decomposição bioquímica, e pode ser obtida por meio da Eq. 4.

$$DOC_f = (0,4 \times A) + (0,15 \times B) + (0,3 \times E) \quad (4)$$

Assim, tem-se que A é a fração de papel/papelão, igual a 14,2%, B a fração de restos de alimentos, igual a 47,7% e E a fração de madeira, igual a 1,54%.

3.2.2 Estimativa da potência e da energia gerada no aterro

De acordo com Pecora (2006), o cálculo da potência e energia gerada no aterro é feita a partir dos valores relacionados às emissões de metano. E para estimar a potência útil gerada no aterro, utilizou-se a Eq. 5:

$$P = Q \times PCI \times n \quad (5)$$

Assim, tem-se que Q é a geração anual de metano por ano calculado (m^3 de CH_4 /ano), valor equivalente ao cálculo de LFG; PCI é o poder calorífico do metano, igual a $5.500 \text{ kcal}/m^3 \text{ CH}_4$ (valor adotado para 50% de metano presente no biogás); e n a eficiência de motores = 0,28 (valor recomendado).

O resultado da Equação 5 foi convertido de Kcal para Megawatt (MW), sendo necessária a divisão para o resultado por 860.000. Para o cálculo da energia disponível produzida no aterro, foi utilizada a Eq. 6:

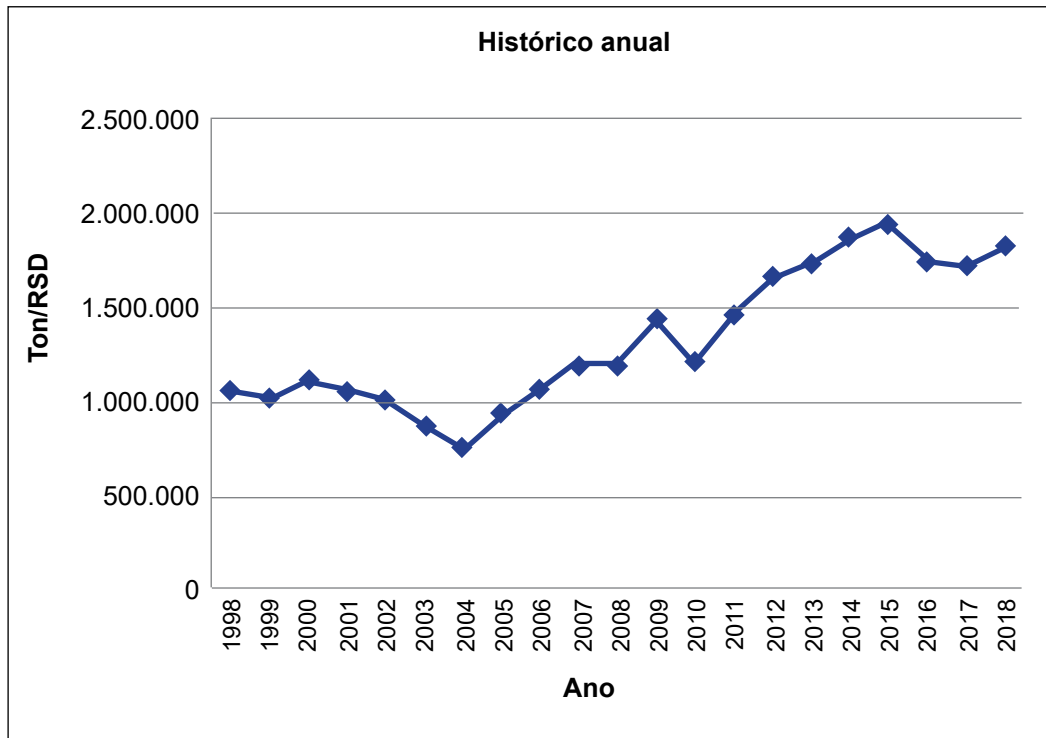
$$E_{disp} = \frac{\text{potência}}{365 \times 24} \quad (6)$$

Assim, E_{disp} é a energia disponível (MWh/dia), 365 é a quantidade de dias no ano, 24 é referente às quantidades de horas diária de consumo e potência útil disponível no aterro em (MW).

4 Resultado e discussão

De acordo com os dados relacionados à coleta de lixo durante os 19 anos de operação do aterro sanitário, e com a estimativa da quantidade de lixo que foi depositado no ano de 2018, obteve-se o gráfico da Fig. 2.

Figura 2 – Distribuição anual do lixo depositado no aterro.



Fonte: Autores, 2017.

Observou-se a relação dos resíduos sólidos produzidos, durante os anos analisados, e o aumento da quantidade de lixo depositado no aterro. Entretanto, em alguns anos ocorreram variações ocasionadas por fatores como crise econômica e avanço da coleta seletiva. No ano de 2017 os dados referentes à produção de RSU foram coletados até o mês de setembro e feito uma estimativa até dezembro, de forma que se têm, até então, o valor de 1.618.939,76 toneladas, com um decréscimo na produção de resíduos de aproximadamente 7% em relação ao ano anterior.

De acordo com dados da ABRELPE (2015), no ano de 2015, a média nacional da formação de lixo totalizou cerca de 79,9 milhões de toneladas, e comparada à média de Fortaleza, que foi em torno de 1.947.980 toneladas, percebe-se que em relação aos grandes centros urbanos, Fortaleza e sua região metropolitana produzem uma quantidade significativa de lixo a nível nacional (ANTOS; ROMANEL; VAN ELK, 2017).

4.1 Geração de gás metano e biogás

A partir da quantidade de lixo depositado no ASMOC, obteve-se uma relação entre a produção de metano e conseqüentemente a geração do biogás. Conforme o Manual para Aproveitamento de Biogás (ICLEI, 2009), se a fração de metano presente no biogás for 50%, a quantidade de biogás será o dobro do valor do metano calculado, ou seja, será duas vezes a quantidade de metano adquirida. Diante da aplicação dos valores da Fig. 2 (quantidade de lixo depositado anualmente) na metodologia do IPCC, gerou-se a Tab. 7 com o comportamento desses dois gases.

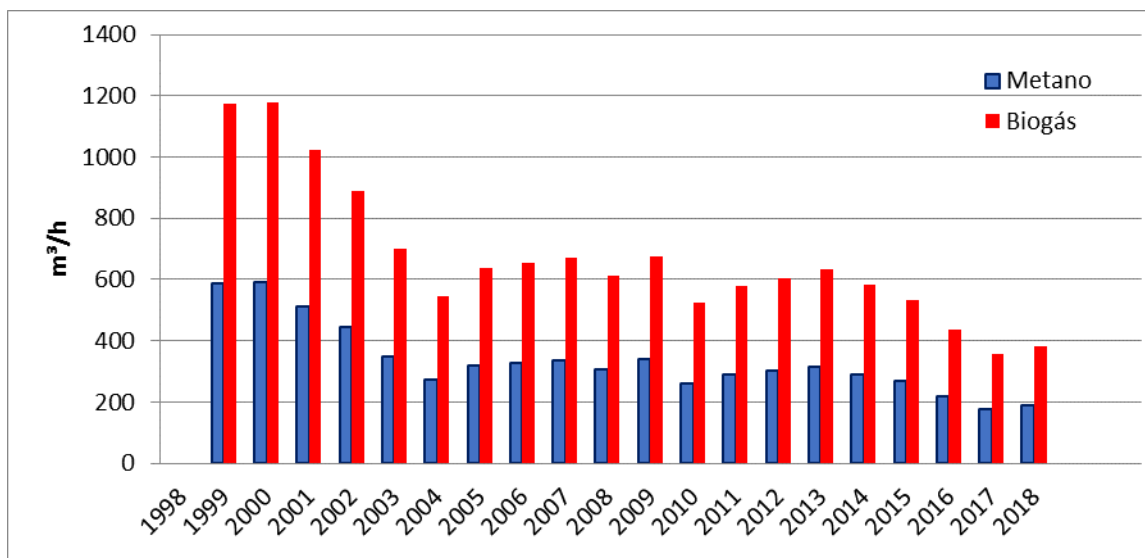
Tabela 7 – Estimativa da geração de gás metano e biogás nos anos de 1998 a 2018.

Ano	Metano (m ³ /h)	Biogás (m ³ /h)
1998	0	0
1999	586,838	1173,675958
2000	589,706	1179,412004
2001	510,602	1021,203682
2002	444,308	888,6151071
2003	349,522	699,0449262
2004	273,016	546,0323253
2005	318,734	637,4677477
2006	327,773	655,5469657
2007	335,251	670,5011663
2008	305,832	611,6641159
2009	338,425	676,8507343
2010	261,248	522,4962373
2011	290,037	580,0743097
2012	301,034	602,0674205
2013	287,536	575,0723718
2014	281,840	563,6805316
2015	267,385	534,7705515
2016	218,843	437,6867964
2017	185,613	371,2279679
2018	191,230	382,4603026
Total	6.664,775611	13.329,55122

Fonte: Autores, 2017.

Perante os dados acerca da produção de gás metano, no ano de 2017, o ASMOC possuiu uma capacidade de geração de 185,613984 m³ de CH₄/ano, que, dobrando esse valor, adquiriu-se a quantidade de biogás equivalente a 371,2279679 (m³/h), como se observa na Fig. 3.

Figura 3 – Geração de metano e biogás para os anos de 1998 a 2018.



Fonte: Autores, 2017.

Observou-se uma relação entre o volume de metano e o volume de biogás produzido, já que estão diretamente associados à porção de lixo depositada no aterro sanitário. A partir do ano de 2015 constatou-se que houve uma diminuição na quantidade de CH_4 e conseqüentemente redução do volume de biogás. Essa diminuição/redução também pode ser explicada pela crise econômica no país que, como consequência, acarreta o menor descarte de resíduos sólidos. Ainda sobre esse tópico, resultados semelhantes foram encontrados por Coelho e Oliveira (2012) ao estudar a geração de biogás no Aterro Sanitário de Palmas – TO.

4.2 Potência útil do ASMOC

A partir da metodologia adotada, estimou-se a potência útil disponível no período estudado (Tab. 8). As estimativas da potência e de energia elétrica seguem a mesma tendência do CH_4 , aumentando com o passar dos anos, até começar a declinar. Isso ocorre porque a potência elétrica resulta, entre outros fatores, da geração de metano.

Tabela 8 – Potência útil gerada no ASMOC entre 1998 e 2018.

Ano	Potência (kcal/m ³ de CH ₄)	Potência (MW)
1998	0	0
1999	7.916.679.072	9205,440782
2000	7.955.369.849	9250,430057
2001	6.888.223.077	8009,561717
2002	5.993.886.620	6969,635605
2003	4.715.197.836	5482,788182
2004	3.683.097.240	4282,67121
2005	4.299.847.452	4999,822618
2006	4.421.795.393	5141,62255
2007	4.522.664.467	5258,912171
2008	4.125.796.794	4797,438133
2009	4.565.493.573	5308,713457
2010	3.524.341.620	4098,071651
2011	3.912.717.234	4549,671202
2012	4.061.065.165	4722,168796
2013	3.878.978.162	4510,439724
2014	3.802.137.922	4421,090606
2015	3.607.134.324	4194,342237
2016	2.952.284.979	3432,88951
2017	2.504.006.889	2911,635918
2018	2.579.771.233	2999,733992

Fonte: Autores, 2017.

A geração de energia, a partir dos gases provenientes dos RSU, possui um potencial de amenizar os impactos do efeito estufa, e, conseqüentemente, a diminuição das mudanças climáticas no planeta. As vantagens da substituição dos combustíveis fósseis e da conseqüente diminuição do impacto sobre mudanças climáticas podem, portanto, ser comercializadas no mercado como créditos de carbono.

4.3 Potencial energético do ASMOC

Para o cálculo da capacidade de geração de energia no ASMOC, que depende da potência útil estimada, foi necessário coletar dados com Fortaleza (2017) e, só a partir daí, foi possível aplicar no método proposto, encontrando os resultados da potência produzida no aterro. Com isso, obteve-se a Tab. 9.

Tabela 9 – Energia disponível no ASMOC entre os anos de 1998 e 2018.

Ano	Energia (Mwh/dia)	Energia (Kwh/dia)	Energia (Kwh/mês)
1998	0	0	0
1999	1,0508	1050,8	31525,48
2000	1,0559	1055,9	31679,55
2001	0,9143	914,3	27430,01
2002	0,7956	795,6	23868,62
2003	0,6258	625,8	18776,67
2004	0,4888	488,8	14666,68
2005	0,5707	570,7	17122,68
2006	0,5869	586,9	17608,3
2007	0,6003	600,3	18009,97
2008	0,5476	547,6	16429,58
2009	0,606	606	18180,53
2010	0,4678	467,8	14034,49
2011	0,5193	519,3	15581,07
2012	0,539	539	16171,81
2013	0,51489	514,8903794	15446,71
2014	0,504691	504,6907085	15140,72
2015	0,478806	478,8061914	14364,19
2016	0,391882	391,8823642	11756,47
2017	0,332379	332,3785294	9971,356
2018	0,342435	342,4353872	10273,06

Fonte: Autores, 2017.

Em relação à energia gerada no ASMOC, para o ano inicial de operação, a quantidade de energia disponível é muito pequena, inviabilizando talvez o aproveitamento. Porém, no ano de 2017 o aterro em estudo apresentou capacidade para produzir aproximadamente 9.971,35 kWh/mês.

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (BRASIL, 2014), o consumo médio de energia de uma residência brasileira é aproximadamente 160 kWh/mês no ano de 2017. Comparando esses dois valores, pode-se afirmar que a partir da energia produzida no ASMOC é possível abastecer aproximadamente 62 residências por igual período de tempo.

E adotando consumo médio de energia de uma residência brasileira como 160 kWh/mês durante os cinco últimos anos, o biogás gerado no ASMOC seria capaz de abastecer, energeticamente, em torno de 426 residências.

De acordo com a metodologia adotada para essa estimativa e conforme resultados semelhantes encontrados em Bandeirantes (2014), Regattieri (2009), Santos *et al.* (2012) e Silvestre (2015), a operação do ASMOC apresenta um potencial de geração de metano de 6.664.775611 m³CH_{4/h} durante toda sua vida útil, que quando multiplicado esse valor por 8.760 obteve-se 58.383.434,4 m³CH₄/ano. Além disso, com esse valor é possível analisar os impactos causados ao meio ambiente, como o agravamento do efeito estufa, que altera a estabilidade energética do planeta e ocasiona o fenômeno conhecido como aquecimento global.

Contudo, apesar das estimativas irem até o ano de 2018, sabe-se que a produção de metano no aterro sanitário estende-se por, aproximadamente, 20 anos mesmo quando a célula de despejo do aterro já tenha sido desativada (PIRES, 2017). De acordo com os ensaios definidos para cada parâmetro analisado, conforme apresentado anteriormente, foram obtidos os seguintes resultados, conforme mostram as Tab. 10, 11, 12 e 13.

Tabela 10 - Resumo dos resultados analisados entre os anos 1998 e 2002.

Parâmetros	Anos				
	1998	1999	2000	2001	2002
Constante de decaimento (k)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Fluxo de resíduos no ano (Rx)	1.065.169	1.012.934	1.113.743	1.055.160	1.004.630
Potencial de geração de metano (L0)	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7
Ano atual (x)	1998	1999	2000	2001	2002
Ano de deposição do resíduo no aterro (T)	1998	1998	1998	1998	1998
Fator de correção do metano (MCF)	1	1	1	1	1
Fração de carbono orgânico degradável (DOC)	0,13267	0,13267	0,13267	0,13267	0,13267
Fração de DOC (DOCf)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fração de metano presente no biogás (F)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Geração anual de metano por ano calculado (Q)	1.065.169	1.012.934	1.113.743	1.055.160	1.004.630
Poder calorífico do metano (PCI)	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500
Eficiência de motores (n)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Dias/ ano	365	365	365	365	365
Horas/dia	24	24	24	24	24
Potência disponível (potência)	0	9205,440782	9250,43	8009,562	6969,635605

Fonte: Autores, 2017.

Tabela 11 - Resumo dos resultados analisados entre os anos 2003 e 2008.

Parâmetros	Anos					
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Constante de decaimento (k)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Fluxo de resíduos no ano (Rx)	699	546	637	656	671	612
Potencial de geração de metano (L0)	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7
Ano atual (x)	1	2	3	4	5	6
Ano de deposição do resíduo no aterro (T)	1998	1998	1998	1998	1998	1998
Fator de correção do metano (MCF)	1	1	1	1	1	1
Fração de carbono orgânico degradável (DOC)	0,13267	0,13267	0,13267	0,13267	0,13267	0,13267
Fração de DOC (DOCf)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fração de metano presente no biogás (F)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Geração anual de metano por ano calculado (Q)	699	546	637	656	671	612
Poder calorífico do metano (PCI)	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500
Eficiência de motores (n)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Dias/ ano	365	365	365	365	365	365
Horas/dia	24	24	24	24	24	24
Potência disponível (potência)	5482,788	4282,671	4999,823	5141,623	5258,912	4797,438

Fonte: Autores, 2017.

Tabela 12 - Resumo dos resultados analisados entre os anos 2009 e 2013.

Parâmetros	Anos				
	2009	2010	2011	2012	2013
Constante de decaimento (k)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Fluxo de resíduos no ano (Rx)	1.436.782	1.213.577,86	1.474.194	1.674.182	1.749.711,68
Potencial de geração de metano (L0)	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7
Ano atual (x)	2009	2010	2011	2012	2013
Ano de deposição do resíduo no aterro (T)	1998	1998	1998	1998	1998
Fator de correção do metano (MCF)	1	1	1	1	1
Fração de carbono orgânico degradável (DOC)	0,13267	0,13267	0,13267	0,13267	0,13267
Fração de DOC (DOCf)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fração de metano presente no biogás (F)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Geração anual de metano por ano calculado (Q)	1.436.782	1.213.578	1.474.194	1.674.182	1.749.712
Poder calorífico do metano (PCI)	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500
Eficiência de motores (n)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Dias/ ano	365	365	365	365	365
Horas/dia	24	24	24	24	24
Potência disponível (potência)	5308,713	4098,071651	4549,671	4722,169	4510,439724

Fonte: Autores, 2017.

Tabela 13 - Resumo dos resultados analisados entre os anos 2014 e 2018.

Parâmetros	Anos				
	2014	2015	2016	2017	2018
Constante de decaimento (k)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Fluxo de resíduos no ano (Rx)	1.876.565	1.876.565	1.744.483,81	1.618.939,76	1.825.000,00
Potencial de geração de metano (L0)	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7
Ano atual (x)	2014	2015	2016	2017	2018
Ano de deposição do resíduo no aterro (T)	1998	1998	1998	1998	1998
Fator de correção do metano (MCF)	1	1	1	1	1
Fração de carbono orgânico degradável (DOC)	0,13267	0,13267	0,13267	0,13267	0,13267
Fração de DOC (DOCf)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fração de metano presente no biogás(F)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Geração anual de metano por ano calculado (Q)	1.876.565	1.876.565	1.744.484	1.618.940	1.825.000
Poder calorífico do metano (PCI)	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500
Eficiência de motores (n)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Dias/ ano	365	365	365	365	365
Horas/dia	24	24	24	24	24
Potência disponível (potência)	4421,091	4194,342	3432,88951	2911,635918	2999,733992

Fonte: Autores, 2017.

5 Conclusão

A partir dos dados obtidos no estudo sobre a geração de biogás originado nos aterros sanitários, observa-se que o ASMOC apresenta possibilidade de ganho econômico com a produção de energia. O biogás, que tem como principal constituinte o gás metano, possui capacidade para ser utilizado na produção de energia útil,

como eletricidade, vapor e combustíveis veiculares, além da possibilidade de que esse gás supra a busca por combustíveis oriundos de petróleo.

Com base no que foi apresentado, compreende-se que estimativa do potencial energético no ASMOC pode favorecer a conversão de biogás em energia útil. Com isso, a aplicação do biogás resultante de aterros sanitários pode proporcionar benefícios para o governo local. Porém, mesmo assim, ainda é irrisório o apoio e incentivo de práticas na área da engenharia que desenvolvem alternativas tecnológicas visando a produção de energia (a preços reduzidos), benefícios ambientais e socioeconômicos.

Desse modo, nota-se a importância da geração de energia não só para a matriz energética do país, mas também, como uma solução eficiente para diminuir problemas ocasionados pela emissão de metano, reduzindo a emissão de gases do efeito estufa.

Referências

ABRELPE. **Download panorama 2015**. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2015/>
Acesso em: 20 jan. 2017.

BANDEIRANTES landfill gas to energy project. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1134130255.56/view?cp=1>. Acesso em: 10 set. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **O aquecimento global e a agricultura de baixa emissão de carbono**. Brasília: MAPA, 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivopublicacoes-plano-abc/o-aquecimento-global-e-a-agricultura-de-baixa-emissao-decarbono.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional**. Relatório final 2014. Rio de Janeiro: EPE. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt>. Acesso em: 24 set. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Planos de gestão de resíduos sólidos**: manual de orientação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012. 156p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/82/_arquivos/manual_de_residuos_solidos3003_182.pdf. Acesso em: 8 dez. 2017.

BRASIL. **Política nacional de resíduos sólidos**. 2. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, 2010. Disponível em: http://fld.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf. Acesso em: 8 dez. 2017.

BRILHANTE, H. **Aterro metropolitano oeste de Caucaia**: ASMOC. Relatório técnico da situação do ASMOC jan. a dez de 2006. Fortaleza: ARFOR, 2006.

CARVALHO, D.; FERRAZ, P. R. **O crescimento populacional e a gestão de resíduos domésticos**. In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 1. 2007, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: 2007. p. 1-7.

CASTRO, Barbara Santos de. **Consolidação do modelo de obtenção de biogás em biodigestor batelada de bancada**. 2016. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2016.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Biogás- 2003. São Paulo: **CETESB**, 2003. **CETESB** - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 246p.

COELHO, T. C.; OLIVEIRA, R. M. S. Estimativa da produção teórica do metano gerado no aterro sanitário de Palmas-TO. **Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal**, v. 9, n. 1, jan./mar. p. 177-189, 2012.

Disponível em: https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/214/213. Acesso em: 28 out. 2017.

CONTO, S. M.; BONATTO, G.; FELDKIRCHER, E. G.; POSSER, L. Geração de resíduos sólidos em um meio de hospedagem: um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2004, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ICTR, Nisam USP, 2004. Disponível em: <http://limpezapublica.com.br/textos/06-100.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2017.

CEARÁ inaugura unidade para geração e tratamento de biogás. Disponível em: <http://www.grupomarquise.com.br/release/ceara-inaugura-unidade-para-geracao-e-tratamento-de-biogas>. Acesso em: 2 set. 2017.

FERREIRA, A. C. Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás: Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. PROSAB: Rede Cooperativa de Pesquisas. Sérgio Túlio Cassini (Coord.). Vitória: Rima, 2003. 196p.

FORTALEZA. Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (ACFOR). **Obtenção de dados**. Fortaleza, 2017.

GOOGLE Earth Pro. Versão 6.2. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>. Acesso em: 15 abr.2018.

GUIMARÃES, Mariana Carvalho et al. The use of biogas from landfills of São Paulo city for bioelectricity generation. In: **The XII latin-american congress on eletricity generation and transmission-CLAGTEE**. 2017.

ICLEI. **Manual para aproveitamento do biogás**: efluentes urbanos. São Paulo, 2009. v. 2.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. The IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. 2006. Disponível em: <http://srren.ipccwg3.de/ipcc-srren-generic-presentation-1>. Acesso em: 27 abr. 2017.

KARLSSON, T. et al. **Manual Básico de Biogás**. Lajeado: Ed da Univates, 2014. 70 p.

LIMA, T. X. **Análise da Capacidade de Geração Energética do Biogás Produzido em aterro sanitário pelos RSU da região metropolitana de Fortaleza**. 2010. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. Disponível em: http://www.eq.ufc.br/TFC/TFC_2010_Lima.pdf. Acesso em: 20 set. 2017.

LOPES, G. R. **Estudo sobre o potencial energético dos efluentes e resíduos sólidos orgânicos gerados na Universidade de Fortaleza**. 2016. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2016.

MAFACIOLLI, D. **Produção de Biogás através do processo de digestão anaeróbia utilizando dejetos de aves de postura com suplementação de glicerina bruta**. 2012. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Centro Universitário - Univates, Lajeado, 2012. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/424/1/DeboraMafaciolli.pdf>. Acesso em: 3 set. 2017.

MENDES, L. G. G.; MAGALHÃES SOBRINHO, P. Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. **Rev. ciênc. exatas**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 71-76, 2005.

OLIVEIRA, B. P. **Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da disposição de resíduos sólidos municipais em Sorocaba – SP e a potência disponível nessas emissões**. Sorocaba: UNESP, 2009.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. **Lixo, do guia para inventários nacionais de gases de efeito estufa**: livro de trabalho, 1996. v. 2. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip>.

iges.or.jp/public/, Acesso: em: 18 mar. 2017.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP**. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://143.107.4.241/download/publicacoes/teseavan.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2017.

PINHEIRO, J. C. V.; CARVALHO, R. M.; FREITAS, K. S. Análise do suprimento atual e potencial de água potável para os municípios cearenses. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 107-121, 2009

PIRES, R. O. R. **Estudo do Potencial Energético gerado em aterro sanitário**: estudo de caso Asmoc. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2016.

REGATTIERI, C. R. **Quantificação de emissão de biogás em aterro sanitário**: estudo de caso do aterro sanitário de São Carlos. 2009. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SANTOS, Átila Caldas *et al.* **Estimativa da geração de metano em aterro sanitário utilizando a composição de resíduos sólidos urbanos e ensaios de BMP**. Salvador: [s. n.], 2012. p. 1 - 8.

SANTOS, G. O.; MOTA, F. S. B.. Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Fortaleza/CE Dispostos no Aterro Sanitário de Caucaia/CE. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, Fortaleza, v. 31, n. 1, p.39-50, jun. 2010.

SANTOS, M. M.; ROMANEL, C.; VAN ELK, A. G. H. P. Análise da eficiência de modelos de decaimento de primeira ordem na previsão da emissão de gás de efeito estufa em aterros sanitários brasileiros. **Rev. Eng Sanit Ambient.**, v. 22, n. 6, p. 1151-1162, nov./dez. 2017.

SÃO PAULO. (Estado). Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental & SMA-SP. **Relatório técnico n.º 2 do convênio SMA/MCT n.º 01.0052.00/2001 – aterros**. São Paulo: SMA, 2003, 349 p.

SILVESTRE, V. V. **Levantamento do potencial de geração de biogás de aterro sanitário para aproveitamento sob a forma de energia elétrica**. 2015. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

VENTURA FILHO, A. O Brasil no contexto energético mundial: o papel das fontes energéticas renováveis na produção de energia elétrica – prioridade da hidroeletricidade. **Naippe**, São Paulo, v. 6, p. 1-22, nov. 2009. Disponível em: http://naippe.fm.usp.br/arquivos/livros/Livro_Naippe_Vol6.pdf. Acesso em: 11 set. 2017.

Sobre os autores

Maria Jorgiana Ferreira Dantas

Possui graduação em Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia CENTEC-Cariri (2008), Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará (2010) e Doutorado em Agronomia (Energia na Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agronômicas (2013), bolsista de doutorado sanduiche pela CAPES na Universidad de Valência/Espanha. Tem experiência na área de Saneamento Ambiental, Engenharia Agrícola, Sensoriamento Remoto e Expressão Gráfica com ênfase em Recursos Hídricos e Geoprocessamento Ambiental. Atualmente é professora do Instituto Federal do Pará.

José Wémenson Rabelo Chaves

Mestrando em Engenharia de Transportes na área de concentração de Infraestrutura de Transportes pela a Universidade Federal do Ceará - UFC. Possui graduação em Engenharia Civil, pela Faculdade Cisne de Quixadá - FCQ. Foi bolsista integral pelo o Programa Universidade para Todos - PROUNI. Foi monitor nas disciplinas de Cálculo I e Geotécnica II.

Roberta Oliveira Roque Pires

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Fortaleza-UNIFOR. Atua como engenheira civil na prefeitura municipal de Madalena/CE. Tem experiência na área de Engenharia Civil.

Recebido em: 14.04.2020

Aceito em: 31.08.2021