

Estimativa teórica da geração anual de biogás pelo aterro sanitário do consórcio CIAS



Theoretical estimation of the annual generation of biogas by the sanitary land of consortium CIAS




- **Data de entrada:**
27/08/2018
- **Data de aprovação:**
15/10/2018

Hellen Luisa de Castro e Silva^{1*} | Ana Luísa Andrade de Toledo¹ | Bettina Pereira de Azevedo Carvalho¹ | Leo Jaymee de Vilas Boas da Silva¹ | Lucas Emanuel Poiães Leite¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.038>

ORCID ID

Silva HLC  <https://orcid.org/0000-0002-2318-4303>
Toledo ALA  <https://orcid.org/0000-0003-1575-7885>

Carvalho BPA  <https://orcid.org/0000-0001-8962-4917>
Silva LJVB  <https://orcid.org/0000-0003-1578-7857>
Leite LEP  <https://orcid.org/0000-0003-3797-3319>

Resumo

Com o advento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a gestão e o gerenciamento de resíduos têm sido vistos como estratégias de competitividade em mudanças climáticas. Nesse sentido, a busca por tecnologias que reduzam emissões baseadas no aproveitamento de gases aliada aos processos de reciclagem, reúso e minimização na geração de resíduos, tem colaborado para investimentos em pesquisas e expansão de fontes alternativas de energias. A partir disso, junto com a crescente produção de resíduos em razão da alta taxa de crescimento populacional aliado ao consumo, faz-se necessária a elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos com desenvolvimento sustentável para os municípios. Dessa maneira, o presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade econômica do aproveitamento energético de biogás gerado pelo aterro sanitário do Consórcio Intermunicipal do Estado de São Paulo (CIAS), formado pelos municípios: Cajamar, Campo Limpo Paulista, Jundiaí, Louveira, Várzea Paulista e Vinhedo em projeções de 20 anos para diferentes populações. Para projeção da produção de gás foi utilizado o software LandGEM® desenvolvido pela Agência Americana de Proteção Ambiental (US EPA). Nesse estudo, são mostradas as equações de potência de aproveitamento, bem como de energia, produzidas a partir da população total estimada, podendo ser utilizadas para estudos preliminares em outros consórcios.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. CIAS. Aterro Sanitário. Biogás.

Abstract

With the advent of the National Solid Waste Policy, waste management plan has been viewed as strategy for competitiveness in climate change. In this sense, the search for technologies that reduce emissions based on the use of gases combined with the processes of recycling, reuse and minimization in the generation of wastes, has been corroborated for investments in research and expansion of alternative sources of energy. As a result, with the increasing production of waste due to the high rate of population growth combined with consumption, it is necessary to prepare a waste management plan with sustainable development for municipalities. In view of this fact, the purpose of this study was to analyze the economic viability of the biogas energy use generated by the São Paulo State Intermunicipal Consortium (CIAS), formed by the municipalities: Cajamar, Campo Limpo Paulista, Jundiaí, Louveira, Várzea Paulista and Vinhedo in projections of 20 years for different populations. For the production of gas projection, this study used the software LandGEM® developed by United States Environmental Protection Agency (US EPA). In this study, the utilization power equations are shown, as well as the energy produced from the estimated total population, which can be used for preliminary studies in other consortia.

Keywords: Solid Waste. CIAS. Landfill. Biogas.

¹ Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) - Itajubá - Minas Gerais - Brasil.

*Autora correspondente: hellen-luisa@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo crescimento econômico do país implica no aumento da produção e do consumo de bens e serviços, acarretando maior geração de resíduos sólidos e gerando problemas de gestão e gerenciamento para os municípios brasileiros.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010a) e regulamentada pelo Decreto 7.404 de 2010 (BRASIL, 2010b), solidifica-se em um momento importante, pois contém instrumentos que permitem, ao país, o avanço necessário no confronto dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos gerados pelo manejo inadequado dos resíduos.

Apesar de a lei representar um avanço nas políticas públicas brasileiras, o cenário atual de coleta e gestão de resíduos no país ainda apresenta grande retrocesso. De acordo com o panorama apresentado pela ABRELPE (2016), foram coletadas no país 71,3 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) no ano de 2016, indicando um índice de cobertura de coleta de 91%. Entretanto, a disposição final dos RSU coletados indicou que somente 58,4% ou 41,7 milhões de toneladas, foram enviadas para aterros sanitários.

Em relação à região Sudeste, 1.668 municípios geraram, no mesmo ano, a quantidade de 104.790 toneladas/dia de RSU, dos quais 98% foram coletadas. Todavia, dos resíduos coletados na região, 27,3%, correspondentes a 27.978 toneladas diárias, ainda são destinados para lixões e aterros controlados.

Destaca-se, ainda, a sobrecarga de fração orgânica nos sistemas de destinação final do país, os quais recebem aproximadamente 71,34 milhões de toneladas por ano, das quais 12,4 milhões de toneladas ainda são depositadas em lixões, a pior forma de destinação possível e fonte diária de poluição ambiental, causadora de diversos problemas de saúde.

Diante disso, são necessárias a investigação e a adoção de métodos que ofereçam destinação ambientalmente adequada aos rejeitos, além da valorização de programas que propiciem o aumento da reciclagem e a reutilização de resíduos sólidos.

Nesse sentido, há cada vez mais busca por energias que liberem menos gases nocivos à atmosfera, levando em conta que as atuais formas de produção de energia trazem, quase sempre, um impacto negativo para o meio ambiente em sua totalidade (SILVA; CAMPOS, 2008). Dentre as propostas atuais, a geração de energia por meio da produção de biogás em aterros se mostra uma alternativa sustentável para disposição final de frações orgânicas, bem como dos gases residuais gerados em aterros sanitários.

O gás de aterro é produzido pela decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos, sendo composto por aproximadamente 50% de CH₄, 40% de CO₂, 9% de N, concentrações residuais de compostos orgânicos voláteis e outros elementos (SILVA; CAMPOS, 2008). Destaca-se que ambos os gases, CH₄ e CO₂, contribuem para o fenômeno de efeito estufa, porém o metano possui um potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao do dióxido de carbono (MELO; SOUZA, 2008). Nesse sentido, em vista do problema ambiental com o lançamento direto do biogás na atmosfera, sua queima ajuda a mitigar possíveis impactos, principalmente se ocorrer de forma controlada (SILVA; SOEIRO, 2013). Aliado a esse fato, a geração de energia por biogás gera mais um campo de atuação profissional, capacita novos trabalhadores a manejar a tecnologia, bem como auxilia na segurança do aterro e das populações circunvizinhas (BRASIL, 2014).

Atualmente, há três projetos de aproveitamento energético em aterros sanitários no Brasil. Os aterros Bandeirantes e São João, localizados no município de São Paulo, contam com capacida-

des de geração de energia elétrica de, aproximadamente, 170 mil MWh/ano e 200 mil MWh/ano, seguidos do aterro de Nova Iguaçu, no estado do Rio de Janeiro, com uma geração de 120 mil MWh/ano (SOARES, 2013). Todavia, ainda são necessários mais estudos que promovam a viabilidade de aplicação e, conseqüentemente, universalização desses sistemas em outros aterros sanitários implantados no país.

A partir disso, de tal forma a aprimorar os estudos de aproveitamento energético de aterros sanitários, o presente trabalho propõe estimar a produção teórica de biogás gerado anualmente pelo aterro sanitário do Consórcio Intermunicipal do Estado de São Paulo (CIAS) em projeções de 20 anos para diferentes populações integrantes. Esse último recebe a coleta de resíduos dos municípios: Cajamar, Campo Limpo Paulista, Jundiá, Louveira, Várzea Paulista e Vinhedo.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo estabelecer uma correlação entre potência e população que permita uma estimativa preliminar do potencial energético passível de ser obtido, sendo também analisada a viabilidade de implantação do projeto por meio do trabalho desenvolvido por Barros et al. (2014).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta se divide em dois segmentos: i) Cálculo de projeção populacional e crescimento de resíduos durante a operação do aterro sanitário; ii) Estimativa de geração de biogás e análise de viabilidade econômica.

i) Projeção populacional e de produção de resíduos

Para a projeção populacional, foi realizada a estimativa da população de acordo com a função logística para os municípios: Cajamar, Campo Lim-

po Paulista, Louveira, Várzea Paulista e Vinhedo, durante um período de 20 anos. Essa escolha foi feita em razão de essa função apresentar um crescimento limitado, ou seja, não crescendo indefinidamente.

Considerando:

$$P_o < P_1 < P_2$$

Tem-se as seguintes equações (Quasim, 1985):

$$P_S = \frac{2P_o \times P_1 \times P_2 - (P_1)^2 \times (P_o + P_2)}{P_o \times P_2 - (P_1)^2} \quad (1)$$

$$C = \frac{(P_S - P_o)}{P_o} \quad (2)$$

$$K_t = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{P_o \times (P_S - P_1)}{P_1 \times (P_S - P_o)} \quad (3)$$

$$P_t = \frac{P_S}{1 + C \times e^{K_1(t - t_o)}} \quad (4)$$

Onde: P_S é a população de saturação; C é uma constante; K_1 é o coeficiente de crescimento logístico; t é o ano atual; P_t é a população estimada no ano t .

Para estimar a população total do município de Jundiá, foi utilizada a função geométrica, uma vez que seu crescimento populacional se dá em função da população existente a cada instante.

Tem-se as seguintes equações (QUASIM, 1985):

$$K_g = \frac{\ln(P_2) - \ln(P_o)}{t_2 - t_o} \quad (5)$$

$$P_t = P_o \times e^{K_g(t - t_o)} \quad (6)$$

Onde: K_g é o coeficiente de crescimento aritmético; P_t é população estimada no ano t .

ii) Estimativa de geração de biogás

Em seguida, foi usado o índice de geração de resíduos, retirado do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS, 2013) e acrescido 1% no valor para cada ano posterior (BARROS, 2012).

A partir desses dados, foi possível calcular a geração total de resíduos por ano, em toneladas, por meio da Eq. 7:

$$R_t = \frac{365 \times (I_{ger_t} \times P_t)}{1000} \quad (7)$$

Onde: R_t é a geração de resíduos no ano t ; P_t é a população no ano t ; I_{ger_t} é o índice de geração de resíduos no ano t .

Após isso, foram utilizados os dados de geração de resíduos no software LandGem®, que estimou a produção de biogás do determinado aterro para cada um dos municípios, para um período de 20 anos.

Com esses dados, foi calculada a vazão passível de ser coletada e a potência disponível, por meio das Eq. 8 e 9.

$$Q_{coletado} = Q_{Biogás} \times n_{coletado} \quad (8)$$

$$P_{disponível} = Q_{coletado} \times \eta \times PCI \quad (9)$$

Em que: $Q_{coletado}$ é a vazão coletada de biogás a cada ano, em m^3 /ano; $\eta_{coletado}$ é a eficiência de coleta, em que foi adotado o valor de 75%, representado pelo grau de urbanização da popu-

lação mundial (Sampaio et al., 2014); $P_{disponível}$ é a potência disponível a cada ano; η é o rendimento da conversão energética, representado pelo valor de 25%; PCI é o poder calorífico do metano, igual a $22 \text{ MJ/m}^3 \text{ CH}_4$ (CETESB, 2010).

A partir disso, foi encontrada a média da potência disponível para cada uma das cidades e, então, calculada a energia passível de ser produzida, por meio da Eq. 10.

$$E = P \times fc \times 365 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} \times 24 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \quad (10)$$

Onde: E , energia disponível anualmente, em kW/ano; Fc , o fator de capacidade, valor adotado de 80% (CETESB, 2006).

Os valores encontrados, então, foram comparados com o número de habitantes e a geração de resíduos para posterior análise de dados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisadas as cidades de Campo Limpo Paulista, Cajamar, Louveira, Jundiaí, Vinhedo e Várzea Paulista, com populações próximas, respectivamente, a 75.000, 65.000, 40.000, 400.000, 65.000 e 45.000. Utilizando as fórmulas 1, 2, 3 e 4, bem como os dados históricos da população, obtidos por meio do IBGE, foi encontrada a projeção populacional para cada uma das cidades. A Tabela 1 apresenta o modelo de crescimento obtido.

Tabela 1. Projeção populacional 2017-2037 para o Consórcio CIAS (SP), formado pelas cidades de Campo Limpo Paulista, Louveira, Vinhedo, Várzea Paulista, Cajamar e Jundiá.

Ano	Geração de Resíduos (ton/ano)						Total
	Campo Limpo Paulista	Cajamar	Louveira	Jundiá	Vinhedo	Várzea Paulista	
2010	74.074	64.114	37.125	370.126	63.611	44.859	653.909
2011	78.204	66.074	41.481	323.404	67.995	51.820	680.730
2012	78.719	66.084	41.527	323.404	68.389	52.427	687.399
2013	79.159	66.091	41.558	323.405	68.694	52.900	693.821
2014	79.534	66.095	41.579	323.406	68.929	53.267	700.060
2015	79.854	66.097	41.593	323.406	69.110	53.551	706.170
2016	80.126	66.098	41.603	323.407	69.249	53.770	712.191
2017	80.357	66.099	41.609	323.407	69.356	53.938	718.159
2018	80.554	66.100	41.613	323.408	69.438	54.067	724.099
2019	80.720	66.100	41.616	323.409	69.501	54.167	730.033
2020	80.862	66.101	41.618	323.409	69.550	54.243	735.980
2021	80.982	66.101	41.619	323.410	69.587	54.301	741.952
2022	81.083	66.101	41.620	323.411	69.615	54.345	747.961
2023	81.169	66.101	41.621	323.411	69.637	54.379	754.017
2024	81.242	66.101	41.621	323.412	69.653	54.405	760.126
2025	81.303	66.101	41.622	323.412	69.666	54.425	766.296
2026	81.355	66.101	41.622	323.413	69.676	54.440	772.531
2027	81.399	66.101	41.622	323.414	69.683	54.452	778.835
2028	81.436	66.101	41.622	323.414	69.689	54.461	785.213
2029	81.468	66.101	41.622	323.415	69.694	54.467	791.668
2030	81.495	66.101	41.622	323.416	69.697	54.473	798.203
2031	81.517	66.101	41.622	323.416	69.699	54.477	804.819
2032	81.536	66.101	41.622	323.417	69.701	54.480	811.520
2033	81.552	66.101	41.622	323.417	69.703	54.482	818.308
2034	81.566	66.101	41.622	323.418	69.704	54.484	825.184
2035	81.577	66.101	41.622	323.419	69.705	54.485	832.151
2036	81.587	66.101	41.622	323.419	69.706	54.486	839.210
2037	81.595	66.101	41.622	323.420	69.706	54.487	846.362

Por meio da Tabela 1, é possível constatar que o crescimento, conforme o aumento dos anos, tende a diminuir e colaborar para estabilização da população. Isso é verificado, principalmente, no caso de cidades com poucos habitantes, como é o caso de Cajamar e Louveira, que apresentaram um crescimento constante, próximo a 65 mil e 40 mil habitantes, respectivamente, nos 20 anos de análise.

O crescimento populacional da cidade de Jundiá apresentou projeção de crescimento de maneira desarmonizada em relação às demais cidades. Uma das possíveis razões para explicar esse fato seria sua localização entre dois grandes polos: São Paulo e Campinas. De acordo com Fernandes e Santos (2018), a tendência da população, com o crescimento desses polos, é a maior procura por

cidades próximas a fim de moradia, tendendo-se à chamada população pendular. Apesar de apresentarem menor tendência de crescimento da população por meio dos cálculos utilizados, os municípios de Várzea Paulista e Campo Limpo Paulista têm, nos últimos anos, apresentado o processo de conurbação. Entre as razões citadas, destacam-se as de natureza territorial, tais como a área disponível para urbanização, ou o tamanho do território da cidade, como no caso de Várzea Paulista que, pela ocupação adensada de todo o território urbanizável disponível, expandiu a mancha urbana em direção a Jundiá, com a qual mantém uma interdependência muito grande (FANELLI; JUNIOR, 2013).

Nesse sentido, apesar da tendência de estabilização do crescimento da população dos mu-

nicipios presentes no consórcio, a expansão da taxa de crescimento do aglomerado urbano de Jundiá colabora para o crescimento constante da população total prevista para o Consórcio, o qual poderá abranger, no ano de 2037, cerca de 850 mil habitantes.

A partir de a geração dos dados de população e do índice de geração de resíduos específico para

cada uma das cidades, obtido por meio de dados do SNIS (2013) com acréscimo de 1% ao ano, conforme Barros et al. (2012), foi possível calcular a geração de resíduos anual, pela Eq. 7. Com os resultados obtidos dessa geração, foi possível estimar a quantidade de resíduos sólidos a serem gerados pelo consórcio para a projeção de 20 anos. A Tabela 2 apresenta a geração obtida.

Tabela 2. Projeção da geração de resíduos 2017-2037 para o Consórcio CIAS (SP), formado pelas cidades de Campo Limpo Paulista, Louveira, Vinhedo, Várzea Paulista, Cajamar e Jundiá.

Ano	Geração de Resíduos (ton/ano)						Total
	Campo Limpo Paulista	Cajamar	Louveira	Jundiá	Vinhedo	Várzea Paulista	
2012	18.863	52.980	38.914	376.259	73.270	57.225	617.511
2013	19.158	53.515	39.333	385.185	74.332	58.318	629.842
2014	19.441	54.053	39.746	394.323	75.333	59.310	642.207
2015	19.715	54.596	40.157	403.678	76.286	60.223	654.654
2016	19.980	55.143	40.568	413.255	77.204	61.073	667.223
2017	20.238	55.695	40.980	423.059	78.097	61.877	679.945
2018	20.490	56.253	41.394	433.095	78.971	62.646	692.848
2019	20.738	56.816	41.811	443.370	79.833	63.388	705.955
2020	20.982	57.384	42.231	453.888	80.687	64.112	719.284
2021	21.223	57.958	42.655	464.656	81.538	64.822	732.851
2022	21.462	58.537	43.082	475.679	82.387	65.524	746.671
2023	21.700	59.123	43.513	486.964	83.236	66.221	760.757
2024	21.936	59.714	43.949	498.517	84.089	66.915	775.120
2025	22.172	60.311	44.389	510.343	84.945	67.609	789.770
2026	22.408	60.914	44.833	522.450	85.807	68.304	804.717
2027	22.645	61.524	45.281	534.845	86.674	69.002	819.970
2028	22.882	62.139	45.734	547.533	87.548	69.703	835.539
2029	23.119	62.760	46.192	560.523	88.429	70.409	851.432
2030	23.358	63.388	46.654	573.820	89.318	71.120	867.657
2031	23.598	64.022	47.120	587.434	90.214	71.836	884.224
2032	23.840	64.662	47.591	601.370	91.119	72.558	901.140
2033	24.083	65.309	48.067	615.636	92.032	73.287	918.414
2034	24.328	65.962	48.548	630.241	92.954	74.022	936.055
2035	24.575	66.621	49.033	645.193	93.885	74.764	954.071
2036	24.823	67.287	49.524	660.499	94.824	75.513	972.472
2037	25.074	67.960	50.019	676.169	95.773	76.270	991.265

Comparando os resultados obtidos na Tabela 2, observa-se que os municípios Campo Limpo Paulista, Cajamar, Louveira, Vinhedo e Várzea Paulista apresentam menor produção total de resíduos, quando comparados à produção prevista, isoladamente, para o município de Jundiá para 20 anos de projeção. Tal fato se dá pelo intenso crescimento do

setor de serviços e comércios de Jundiá, o qual sustenta boa parte das necessidades do aglomerado urbano, proporcionando um fluxo constante e pendular entre as cidades e, conseqüentemente, maior aumento de consumo de bens e serviços, gerando problemas no gerenciamento de resíduos. De acordo com Roth e Garcias (2008), a geração de resí-

duos sólidos está diretamente ligada aos padrões culturais, renda e hábitos de consumo da sociedade, sendo este último uma das principais causas da grande quantidade de resíduos. Dessa maneira, deve-se seguir com a redução na fonte e a minimização de resíduos, com programas de reúso e a reciclagem de materiais e efluentes, de tal maneira a adotar-se um sistema de prevenção que possa ser adotado no desenvolvimento de indústrias e comércio dessas regiões.

Nesse sentido, como forma de aproveitamento e redução de GEE's, por meio do software Land-Gem® e dos dados de geração total de resíduos por ano, calculou-se a vazão de biogás, em m³/

ano, produzida em cada ano para o consórcio, até chegar em sua baixa produção. As fórmulas levaram em consideração os seguintes parâmetros selecionados no próprio software: valor da constante de geração de metano igual a 0,05 por ano e o potencial de geração de metano por tonelada de lixo, usado como o valor convencional de 170 m³/mg. Considerando os dados obtidos pelo software e utilizando a equação 8, foi possível calcular a vazão de metano em m³/ano, passível de ser coletada. Ainda, por meio dos dados obtidos, e com o auxílio da fórmula 9, foi possível calcular a potência disponível anualmente, em kW, para o Consórcio. A Fig. 1 apresenta a potência gerada, com o passar dos anos, para o consórcio CIAS.



Figura 1 - Desenvolvimento da potência em relação ao aporte de resíduos e produção residual do consórcio CIAS.

A curva ascendente representa a potência gerada durante o período de aporte de resíduos no aterro, enquanto a decrescente descreve a potência gerada durante a produção residual após o fechamento do aterro, em que não há mais o acréscimo de resíduos. De acordo com a Fig. 1, verifica-se que, conforme houve o crescimento da população, também houve, conseqüentemente, o aumento na potência.

Além disso, a curva de potência apresenta um pico no ano de 2038, pois é o ano posterior de fechamento do empreendimento, havendo grande contribuição de resíduos e decomposição.

De acordo com a potência gerada para os diferentes períodos de aporte de resíduos, foi calculada a energia passível de ser produzida para cada população anual pertencente ao consórcio. A Tabela 3 apresenta dados obtidos, anualmente para o consórcio, a fim de comparação.

Tabela 3. Dados de população, potência e energia produzidas, para o consórcio CIAS.

Ano	População Total	Potência Máxima (MW)	Energia (GWh/ano)
2017	718.159	0,252	3,480
2018	724.099	0,497	5,145
2019	730.033	0,734	6,763
2020	735.980	0,965	8,339
2021	741.952	1,190	9,874
2022	747.961	1,409	11,372
2023	754.017	1,623	12,834
2024	760.126	1,831	14,263
2025	766.296	2,035	15,662
2026	772.531	2,235	17,033
2027	778.835	2,431	18,378
2028	785.213	2,622	19,699
2029	791.668	2,811	20,998
2030	798.203	2,996	22,278
2031	804.819	3,179	23,539
2032	811.520	3,359	24,785
2033	818.308	3,537	26,016
2034	825.184	3,712	27,234
2035	832.151	3,886	28,441
2036	839.210	4,058	29,639
2037	846.362	4,229	30,829
2038	-	4,399	32,012

De acordo com a Tabela 3, verifica-se a tendência do aumento linear da população, da potência máxima, bem como da energia passível a ser gerada com o aumento dos anos. Ainda, ao comparar-se tais variáveis durante o início do empreendimento, verifica-se que cada habitante do consórcio é responsável pela produção de 0,35 W da potência, podendo atingir, um ano após o fechamento do empreendimento, cerca de 5,20 W.

Tendo em conta, ainda, os dados de energia presentes na Tabela 3, pode-se compará-los com o uso de energia per capital do Brasil, que é de 2.228 KWh/hab (EPE, 2017), e determinar o número de habitantes do consórcio que se abasteceriam por meio dessa energia gerada, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Número de habitantes que seriam abastecidos pela energia gerada pelos resíduos em cada uma das cidades.

Ano	Habitantes
2017	1.562
2018	2.309
2019	3.036

2020	3.743
2021	4.432
2022	5.104
2023	5.760
2024	6.402
2025	7.030
2026	7.645
2027	8.249
2028	8.842
2029	9.425
2030	9.999
2031	10.565
2032	11.124
2033	11.677
2034	12.223
2035	12.765
2036	13.303
2037	13.837
2038	14.368

Também foi verificada a quantidade de domicílios que essa mesma energia abasteceria para o período considerado.

De acordo com dados da SEADE (2017), entre 2017-2050, o número médio de pessoas por domicílio será de 2,47 habitantes. Considerando esse dado, a Tabela 5 apresenta o número de domicílios.

Tabela 5. Número de domicílios passíveis de serem atendidos com a energia gerada pelos resíduos do consórcio CIAS.

Ano	Residências abastecidas
2017	632
2018	935
2019	1.229
2020	1.515
2021	1.794
2022	2.066
2023	2.332
2024	2.592
2025	2.846
2026	3.095
2027	3.340
2028	3.580
2029	3.816
2030	4.048
2031	4.277
2032	4.504
2033	4.727
2034	4.949
2035	5.168
2036	5.386
2037	5.602
2038	5.817

Barros et al. (2014) determinaram vários cenários para analisar a viabilidade de projetos no uso de termoenergia como mostrado na Tabela

6, em que é possível alocar a cidade (ou grupo de cidades) em um desses cenários utilizando-se a sua população.

Tabela 6. Cenários para a simulação de projetos utilizando energia de biogás

Dados de Operação					
População (habitantes)	Massa de Biogás produzida (ton/ano)	Planta da Capacidade instalada de termo energia (kW)	Planta do Período de tempo de Operação		Cenário
			Tempo (anos)	Ano Inicial- Ano Final	
80.000	13,784	100	31	2015-2045	C1
		200	17	2020-2036	C2
		300	3	2029-2031	C3
100.000	17,230	200	22	2018-2039	C4
		300	12	2023-2034	C5
		350	6	2027-2032	C6
200.000	34,460	400	22	2018-2039	C7
		500	17	2020-2036	C8
		600	12	2023-2034	C9
300.000	51,691	700	18	2020-2037	C10
		800	16	2021-2036	C11
		900	12	2023-2034	C12
500.000	86,151	1.200	18	2020-2037	C13
		1.400	14	2022-2035	C14
		1.600	9	2025-2033	C15

Fonte: Barros et al. (2014).

A população final estimada para o ano de operação do consórcio CIAS é de aproximadamente 846.362 habitantes, com capacidade instalada de termoenergia de aproximadamente 4400 kW. Por meio da Tabela 6, verifica-se que, a partir dos dados de população e capacidade instalada, a simulação enquadra-se nos cenários C13, C14 e C15. Todavia, ao analisar-se o intervalo do tempo de operação, o cenário C13 se apresenta como o mais adequado para análise.

De acordo com Barros et al. (2014), as populações atrativas para a utilização da energia por biogás, considerando a taxa interna de retorno, são os municípios com população superior a 200.000 habitantes e com potência acima de 500 kW. Nessas condições, a taxa interna de retorno é superior à taxa mínima de atratividade, a qual, no mercado energético brasileiro, é de 9,5% ao ano. Assim, visto que ambas as condições são alcançadas no consórcio, há a viabilidade de utilização da termoenergia advinda do mesmo. Ainda, de acordo

com o cenário escolhido, conclui-se que o tempo de retorno do projeto será inferior a 7 anos.

4 CONCLUSÃO

O trabalho exposto buscou realizar uma análise quantitativa da produção energética a partir da estimativa de geração de resíduos sólidos pelas cidades do consórcio CIAS, tomando como base suas populações definidas por dados históricos do IBGE. A partir disso, foi possível identificar a potência e a energia geradas por meio dos cálculos de produção de biogás em projeções de 20 anos.

Por meio do gráfico de potência gerado, é possível perceber que, durante os anos de operação do aterro, há uma curva crescente na produção de energia. Entretanto, no momento em que o empreendimento cessa sua produção, os níveis de vazão de biogás vão diminuindo a cada ano em

razão da produção residual, formando uma curva decrescente de potência, a qual tende a zero.

Da mesma forma que a produção de resíduos é estabelecida como um valor médio por habitante, verifica-se que o empreendimento apresenta, inicialmente, um valor médio por habitante de 0,35 W de potência, podendo chegar a 5,20 W, totalizando cerca de 32,01 GWh/ano de geração de energia um ano após o término do empreendimento.

É necessário destacar que, ao comparar-se o número de habitantes abastecidos em relação à população total do consórcio no início e final do empreendimento, constata-se que o número de habitantes abastecidos varia de 0,22% a 1,63%. Esses resultados são relativamente baixos para o abastecimento dos habitantes totais do consórcio; todavia, a geração anual poderia ser utilizada para abastecer pequenas comunidades rurais e núcleos urbanos ao redor do empreendimento.

Por meio dos dados e análises realizados, conclui-se que é viável economicamente implantar uma gestão energética utilizando o biogás no consórcio em questão, uma vez que conciliaria o problema da produção de gases por meio do aterro sanitário e suprimiria as necessidades energéticas dos pequenos núcleos populacionais ao redor. Esse resultado de viabilidade se mostra consoante com o previsto pelo trabalho de Barros et al. (2014), uma vez que o consórcio em questão apresenta população inicial superior a 200.000 habitantes e capacidade de potência mínima gerada acima de 500 kW.

É necessário destacar que, em virtude da estimativa da população, a produção de resíduos tende a aumentar e, conseqüentemente, haverá a necessidade de investimentos e políticas públicas que priorizem o gerenciamento adequado dos resíduos e mostrem, principalmente para as populações mais carentes, a importância e o valor econômico da geração de energia por meio de fontes renováveis.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Professora Dra. Regina Mambeli Barros (PQ2, número do processo: 303805/2018-0), bolsista de produtividade pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), bem como ao Professor Dr. Ivan Felipe Silva dos Santos, pelos conhecimentos para o presente estudo realizado. Os autores também gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) por conceder uma bolsa de mestrado em ciências a Hellen Luisa de Castro e Silva.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização, Castro e Silva HL e Toledo ALA; **Metodologia**, Toledo ALA, Carvalho BPA, Castro e Silva HL, Silva LJVB, Leite LEP; **Redação – Primeira versão**, Toledo ALA, Carvalho BPA, Castro e Silva HL, Silva LJVB, Leite LEP; **Redação – Revisão & Edição**, Castro e Silva HL, Carvalho BPA, Leite LEP; **Supervisão**, Castro e Silva HL

7 REFERÊNCIAS

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2016**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em 29 mai. 2018.
- BARROS, R. M. **Tratado sobre Resíduos Sólidos: Gestão Uso e Sustentabilidade**. Primeira Edição. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012.
- BARROS, R. M. et al. The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. **Energy Policy**, v.65, p.150-164, 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Nº 12.305**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 ago. 2010a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 29 mai. 2018.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) – Série Histórica**. 2013. Disponível em: <<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em 30 mai. 2018.

- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Decreto nº 7.404**, de 23 de Dezembro de 2010b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em 23 Abr. 2018.
- BRASIL. Secretaria do Meio Ambiente. Resíduos sólidos. **Coleção Cadernos de Educação Ambiental**, 2. ed. v. 6, São Paulo, 2014.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Operações de Aterros Sanitários em Valas**. São Paulo: CETESB, 2010.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CESTEB). **Biogás: Pesquisas e Projetos no Brasil**. São Paulo, 2006.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em 8 jun. 2018.
- FANELLI, A.; JUNIOR, W. O aglomerado Urbano de Jundiaí (SP) e os desafios para a mobilidade metropolitana paulista. **Caderno Metropolitano**, v. 15, n.30, p.461-487, 2013.
- FERNANDES, G.; SANTOS, I. Avaliação do Potencial Energético de Aterros Sanitários de Seis Cidades Brasileiras. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.7, n.1, p.51-65, 2018.
- FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. **SEADE disponibiliza projeções de população e domicílios até 2050**. 2017. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/seade-disponibiliza-projecoes-de-populacao-e-domicilios-ate-2050/>>. Acesso em 6 jun. 2018.
- MELO E SOUZA. Projeto Balanço de Carbono na ONU. **Revista Furnas**, v.34, n. 355, p. 28-29, 2008.
- ROTH, C.; GARCAS, C. A influência dos padrões de consumo na geração de resíduos sólidos dentro do sistema urbano. **Revista Eletrônica Direito e Sociedade**, v.13, n.3, p.5-13, 2008.
- SAMPAIO, R.; BONFIM, D.; SANTOS, J.; SILVA JÚNIOR, M. A gestão de resíduos sólidos urbanos: impasses políticos, técnicos, legais e metodológicos. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Ed. Especial impressa – Dossiê Educação Ambiental, 2014.
- SILVA, T.; CAMPOS, L. Avaliação da Produção e Qualidade do Gás de Aterro para Energia no Aterro Sanitário dos Bandeirantes - SP. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.13, n. 1, p.88-96, 2008.
- SILVA, R.; SOEIRO, E. Viabilidade da Utilização do Biogás como Fonte Alternativa de Energia. **RunPetro**, v.2, n.1, p. 31-36, 2013.
- SOARES, L.E. **Aterros Sanitários com Aproveitamento Energético no Brasil: Eficiência Energética e Análise de Potencialidades Futuras**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Lavras (MG), 2013.
- QUASIM, S.R. **Wastewater treatment plants: planning, design, and operation**. CBS College Publishing, Estados Unidos, 1985.
- US EPA - United States Environmental Protection Agency. **Landfill Gas Emissions Model**. (LandGEM). Version 3.02 User's Guide. US EPA, May 2005. EPA-600/R-05/047.