

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO ELÉTRICO DO BIOGÁS PROVENIENTE DE ATERRO SANITÁRIOS E LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ-MG**

Matheus Liberato Ferreira<sup>1</sup> (IC), Regina Mambeli Barros<sup>2</sup> (PQ)

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá; <sup>2</sup>Universidade Federal de Itajubá

**Palavras-chave: Biogás. Aterros sanitário. Lodo de esgoto. Digestão anaeróbia. Potencial energético.**

### Introdução

As alterações nas condições climáticas do planeta são reflexo do uso linear e compulsório dos recursos naturais, essas alterações tendem a acompanhar o crescimento populacional, pois, possui como consequência maior geração de resíduos sólidos, produção de efluentes e emissão de gases do efeito estufa, além de demandar mais recursos e, conseqüentemente, mais energia. O aproveitamento de resíduos se mostra uma alternativa para geração energética, mais especificamente, para geração do biogás que pode ser utilizado como fonte renovável de energia.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população brasileira é de 214 milhões de pessoas no ano de 2022, responsáveis por um consumo de energia de 497.500 GWh, apresentando 4% de aumento em relação ao ano anterior, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Visando diversificar a matriz energética, pode-se utilizar o biogás como fonte de geração. Segundo Ahring (2003), biogás pode ser definido como o principal produto da digestão anaeróbia (DA), sendo um processo de degradação de matéria orgânica na ausência do gás oxigênio. Esse processo envolve um consórcio de microrganismos fermentativos e metanogênicos que atuam na conversão da matéria orgânica complexa em biogás, composto por: metano (CH<sub>4</sub>), gás carbônico (CO<sub>2</sub>), água (H<sub>2</sub>O), gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) e amônia (NH<sub>3</sub>), além de novas células bacterianas (Chernicharo, 2005).

Ao aprisionar matéria orgânica em aterros sanitários, o processo de digestão anaeróbia é favorecido e, por consequência, há geração de biogás que pode ser captado e utilizado. Segundo a USEPA (2016), esse gás pode apresentar de 50 a 60% de metano.

O biogás também pode ser obtido no tratamento de efluentes municipais, onde são utilizados reatores anaeróbios (National Water Agency – ANA, 2015). Esses, também denominados de digestores anaeróbios de

lodo, operam principalmente para estabilização de lodos provenientes do tratamento de esgotos. Além disso, dentro do reator ocorre a separação de gases e sólidos, promovendo a liberação de biogás pela parte superior e retirada de sólidos pela parte inferior do reator (CHONG et al., 2012). O biogás coletado através da digestão anaeróbia de lodo, possui em sua composição, aproximadamente, 55 a 70% em volume de metano, 30 a 45% de gás carbônico (LEONZIO, 2016).

A energia química contida no biogás pode ser transformada em elétrica a partir de motores de combustão interna. Contudo, os mecanismos de conversão não são ideais e possuem coeficientes de rendimento indispensáveis para estimativas (SANTOS, 2015). Posterior a conversão, a energia elétrica gerada se enquadra na mini geração distribuída (GD), definida pela geração elétrica por pequenas centrais de energia proveniente de fontes renováveis (REN nº 482/2012). Como consequência, a GD proporciona redução dos custos de geração e transmissão, pois, a geração e o consumo ocorrem no mesmo local (MATHIAS, 2015).

### Metodologia

O vigente estudo visou estimar o potencial de geração elétrica do biogás, embasado em modelos matemáticos encontrados na bibliografia, a fim de, obter valores de crescimento populacional, quantidade de resíduos sólidos e lodo de estação de tratamento de esgoto gerados no município de Itajubá (MG, Brasil), sob o mesmo ponto de vista, foi estimada a emissão evitada de gás carbônico. Além disso, utilizou-se o software LandGEM para as estimativas de geração de metano anual para posterior cálculo de potencial elétrico.

Os dados do estudo foram estimados para a cidade de Itajubá, localizada no sul do estado de Minas Gerais. Essa possui 97.782 habitantes (IBGE, 2021) e conta com um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,787, sendo o IDHM referente ao ano de 2010.

Para estimativa dessa análise foi utilizado o método de crescimento logístico, apresentado por Barros (2012) e Von Sperling (2005)

$$P(s) = \frac{2P_0P_1P_2 - (P_0)^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - (P_1)^2} \quad (1)$$

$$C = \frac{(P_s - P_0)}{P_0} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \ln \left[ \frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right] \quad (3)$$

$$P_t = \frac{P_s}{1 + C \cdot e^{-K_1 \cdot (t - t_0)}} \quad (4)$$

Assim como foi apresentado por Barros (2012), é possível determinar a quantidade de resíduos sólidos urbanos ( $R_t$ ) gerados no município, relacionando a população total e o índice de geração per capita ( $I_g$ ), obtido pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019). Expresso pela Equação 5.

$$R_t = \frac{(P_t \cdot I_g) \cdot 365}{1000} \quad (5)$$

Onde:  $P_t$  possui unidade em habitantes;  $R_t$  é representado por tonelada/ano;  $I_g$  possui unidade igual a quilograma de resíduos/habitantes/dia. Esse dado foi acrescido de 1% para cada ano de intervalo entre a data encontrada para o ano vigente deste trabalho, com intuito de minimizar a defasagem.

Para a determinação de quantidade de lodo gerado no município de Itajubá, foram utilizadas as Equações de 6 a 11, conforme apresentados por Von Sperling (2005) e Nuvolari (2011).

$$Q_{méd} = P_t \cdot R \cdot Q_{pc} \quad (6)$$

$$Q_{máx} = 1 + \left( \frac{14}{4 + \left( \frac{14}{1000} \right)^{0,5}} \right) \cdot Q_{méd} \quad (7)$$

$$Q_{mín} = 0,5 \cdot Q_{méd} \quad (8)$$

$$DBO = P_t \cdot pc \quad (9)$$

$$DQO = \frac{DBO}{0,5} \quad (10)$$

$$\Delta x = 0,15 \cdot DQO \cdot Q_{méd} \quad (11)$$

Sendo:  $Q_{méd}$  a vazão média de efluente gerado no município;  $R$  é definido pelo coeficiente de retorno (esgoto/água), adotado de acordo com Von Sperling (2005) como 0,8;  $Q_{pc}$  corresponde à geração per capita, adotado como 160 L.hab.d (Von Sperling (2005);  $Q_{máx}$  e  $Q_{mín}$  são as correspondem a vazão máxima e mínima de geração de efluente; DBO traduz a demanda de oxigênio, sendo a parcela biodegradável do efluente;  $pc$  se trata da produção per capita, adotado como 50 g.DBO<sub>5</sub>. dia/hab, segundo Von Sperling (2005). DQO corresponde a demanda química de oxigênio;  $\Delta x$  é a quantidade de lodo gerado (Nuvolari, 2012). m<sup>3</sup>

A geração de metano a partir de estação de tratamento de esgoto e pelos resíduos sólidos municipais destinado a aterros sanitários foi obtida pelas Equações 12 e 13. A Equação 13 se trata de um modelo desenvolvido pela Agência Americana de Proteção Ambiental (USEPA), baseada em equações de decaimento de primeira ordem, inseridas ao software LandGEM

$$M_t = R_t + \Delta x \quad (12)$$

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k \cdot L_0 \cdot \left( \frac{M_t}{10} \right) \cdot e^{-k \cdot t_{i,j}} \quad (13)$$

Onde:  $M_t$  é a soma das estimativas de lodo e resíduos sólidos urbanos;  $k$  é a constante de decaimento da produção de metano, adotado como 0,05 ano<sup>-1</sup> como sugerido pelo software LandGem;  $L_0$  se trata do valor do potencial de geração de biogás, sendo 170 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tonelada, segundo Barros (2012).

A partir dos dados anteriores foi possível calcular a potência disponível por ano através da Equação 14 (CETESB, 2006; BARROS, 2012). Obtidos os dados anteriores, através da Equação 15, foi possível realizar o cálculo de energia a ser gerada a partir desse gás, no motor ciclo Otto.

$$P = Q_{CH_4} \cdot E \cdot E_c \cdot P_{cCH_4} \quad (14)$$

$$En = P \cdot \text{fc} \cdot 8760 \quad (15)$$

Onde: P= Potência disponível por ano (kW); QCH<sub>4</sub>= Vazão de metano por ano (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano); P<sub>cCH<sub>4</sub></sub>= Poder calorífico do metano (J/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>); E<sub>c</sub>= Eficiência de coleta de biogás (%); E= Eficiência da tecnologia de conversão (%); 1/365.24.3600= número de segundos em 1 ano (s/ano); 1/1000 corresponde a transformação da unidade de J.s<sup>-1</sup> para kW;

Alguns parâmetros adotados através da bibliográfica foram: o PCI do metano no valor de 35,5.10<sup>6</sup> (J/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>) (PIÑAS et al., 2016), motor Ciclo Otto de combustão

interna com eficiência considerada de 33% (PECORA, 2006; BOVE; LUNGHI, 2006) e a eficiência de coleta de biogás de 55,5% (SILVA; FREITAS; CANDIANI, 2013; WATERMOLEN, 2012; RIBEIRO, 2020). O fator de capacidade foi considerado de 80% (SANTOS; BARROS; TIAGO FILHO, 2018).

Para o cálculo de emissões de CO<sub>2</sub> foi utilizado a Equação 16, como apresentado por Brito et al (2019).

$$GEE_{evitado} = E_{ano} \cdot (E_{biogás} \cdot GEE_{SNIS}) \quad (16)$$

Sendo:  $GEE_{evitado}$  = quantidade de gás carbônico evitado, em toneladas por ano;  $GEE_{SNIS}$  = Valor padrão de emissão 0,3007 tCO<sub>2</sub>.MWh<sup>-1</sup> (BRASIL, 2020);  $E_{biogás}$  = fator médio de emissão anual para biogás, foi de 0,5181 tCO<sub>2</sub>.MWh<sup>-1</sup> (NIELSEN; NIELSEN; PLEJDRUP, 2014);  $E_{ano}$  = Energia em MWh produzida anualmente.

## Resultados e discussão

A estimativa populacional foi realizada a partir do método logístico (Gráfico 1), esse que proporciona uma maior precisão, uma vez que considera as condições limitantes de crescimento populacional convergindo para uma população de saturação.

Gráfico 1 – Crescimento populacional logístico



Abaixo está representado graficamente a geração de metano pelo município de Itajubá (Gráfico 2). Os valores anuais levam em conta o crescimento populacional e, conseqüentemente, a geração de resíduos e geração do lodo pela estação de tratamento.

Gráfico 2 – Geração de metano por ano

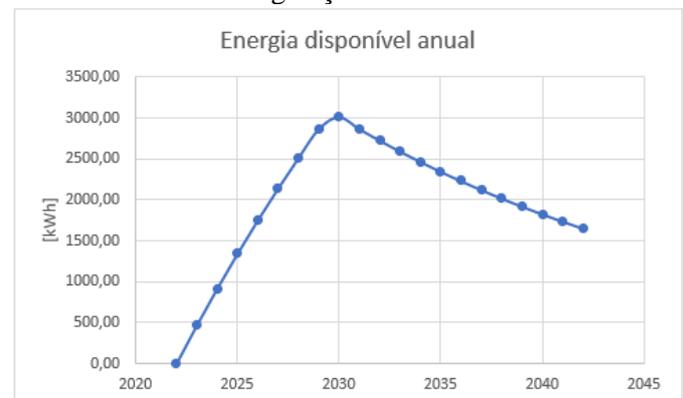


É possível observar os valores da geração de metano e o perfil de produção desse gás ao longo dos anos de funcionamento do aterro, atingindo o maior valor de geração em 2030, sendo de 2.088.332 m<sup>3</sup>. Foi possível obter a geração média de metano, sendo esta 1.370.000 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Em relação a questão legal para uso desse volume, cabe à Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural (ANP) estabelecer especificações sobre derivados de petróleo e biocombustíveis. Especificamente para o biometano proveniente de aterros e estações de tratamento, aplica-se o Regulamento Técnico da ANP N° 1/2017 (BRASIL/ANP, 2017). Dessa forma, as normativas de especificações do biogás são estipuladas pela ANP, enquanto o cenário legal que contempla a GD compete à ANEEL (BRASIL/ANEEL, 2012).

Ao converter a geração de metano através de um motor de combustão interna (Ciclo Otto) foi possível obter a energia disponível anualmente (Gráfico 3)

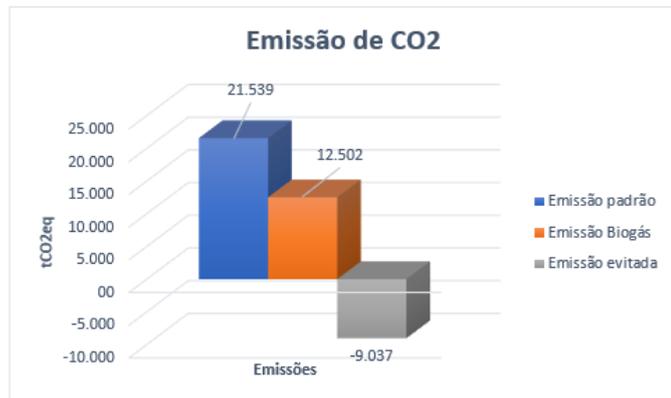
Gráfico 3 – Potencial geração elétrica



Ao se analisar o potencial de geração elétrica, no ano de 2030 ocorre o maior valor na casa de 3.000 MWh e com uma média de quase 2.000 MWh. Comparativamente, podemos associar o consumo per capita de energia elétrica no Brasil, segundo o Laboratório de Eficiência

Energética em Edificações (LabEEE), o consumo residencial é expresso em torno de 152,2kWh/mês. Nesse sentido, convertendo a geração elétrica para anual relacionado ao potencial de geração elétrico médio, apresentado nesse estudo, é possível abastecer 1.095 residências do município de Itajubá por ano.

Gráfico 4 – Emissões de gás carbônico



O comparativo apresentado pelo Gráfico 4 relaciona as emissões médias de gás carbônico com o fator de emissão ao se utilizar o biogás. Evidentemente, ao fazer uso do biogás, há uma menor emissão de gás carbônico. Dessa forma, ao somar as emissões durante os 20 anos desse estudo, foi possível estimar uma redução de 9.037 toneladas que seriam lançadas para atmosfera. Em termos percentuais, teríamos uma redução na emissão de 41,9%.

## Conclusões

A descentralização da matriz energética se torna uma forma de diminuir impactos ambientais causados pelas grandes infraestruturas de transmissão de energia, apresentando a geração nos locais de consumo e, principalmente, reduzindo os custos de investimento em projetos energéticos.

Para o município de Itajubá, foi possível estimar um potencial de geração elétrica médio de 1.979 MWh e uma potência disponível anual de 282,5 kW.ano<sup>-1</sup>.

Analogamente, pode-se gerar energia elétrica para abastecer mais de mil residências do município por ano do projeto. Podendo reduzir a emissão de gás carbônico para a atmosfera em 41,9% em relação às fontes convencionais.

## Agradecimento

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro. Também gostaria de agradecer à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e seu corpo docente pelo suporte e excelência no ensino.

## Referências

- AHRING, B. K. Perspectives for anaerobic digestion. *Advances in biochemical engineering/biotechnology*, v. 81, p. 1–30, 2003.
- BARROS, R. M.. *Treatise on solid waste management, use and sustainability*. In: Rio de Janeiro: Interciência. Minas Gerais: Acta, ISBN: 978-85-7193-295-1, p. 376, 2012.
- Biogás – geração e uso energético – aterros versão 10.1. Manual do usuário do programa de computador. 2006. Disponível em: . Acesso em: 30 de set. 2022.
- BOVE, Roberto; LUNGHI, Piero. Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. *Energy Conversion And Management*, [s.l.], v. 47, n. 11-12, p. 1391-1401, jul. 2006.
- BRITO, R. C.; BARROS, R. M.; SANTOS, I. F. S.; TIAGO FILHO, G. L.; SILVA, S. P. G. Energy potential of biogas landfill use and anaerobic digesters from the 1 municipal solid waste organic fraction of Minas Gerais State, Brazil, *Journal of Material Cycles and Solid Waste Management*, artigo submetido, 2019.
- CHERNICHARO, C.A. L. *Princípios de Tratamento Biológico de Esgotos – Reatores Anaeróbios*. Belo Horizonte: UFMG, 2005.
- CHONG, S. et al. The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment - A State-of-the-art review. *Water Research*, v. 46, n. 11, p. 3434–3470, 2012.
- LEONZIO, G. (2016). Upgrading of biogas to bio-methane with chemical absorption process: Simulation and environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, 131, p. 64–375.
- NIELSEN, Malene; OLE-KENNETH, Malene and PLEJDRUP, Marlene. Danish emission inventories for stationary combustion plants. *Inventories until year 2011*. No. 102. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 2014.
- NUVOLARI, A. *Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2012. 549p.
- Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Resíduos Sólidos*. 2012.
- PECORA, Vanessa. *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir de biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – estudo de caso*. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Interunidade de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- PIÑAS, Jean Agustin Velásquez; VENTURINI, Osvaldo Jose; LORA, Electo Eduardo Silva; OLIVEIRA, Michele Aparecida de; ROALCABA, Orly Denisse Calle. 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*, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 175-188, 10 maio 2016. Associação Brasileira de Estudos Populacionais
- SANTOS, Ivan Felipe Silva dos et al. Uso de biogás de aterros sanitários para geração de eletricidade: Um estudo dos custos de implantação. In: *THE XI Latin-american congress electricity generation and transmission – clagtee*. 2015
- SANTOS, Rafaela Ediene dos et al. Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: An economic and energy comparative analysis. *Journal Of Environmental Management*, [s.l.], v. 231, p.198-206, fev. 2019. Elsevier BV.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency (2016). *Landfill methane outreach program (LMOP), Landfill gas energy Project development handbook*
- Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE)
- VON SPERLING, M. (2005). *Introduction to water quality and sewage treatment*. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 3. revised ed., Volume 1, p. 452.