

Potencial de emissão de biogás de célula já finalizada do aterro sanitário municipal de Cascavel – PR

Abel Alves de Souza¹, Reinaldo Aparecido Bariccatti¹, Samuel Nelson Melegari de Souza¹, Benhurt Gongora¹, Reginaldo Ferreira Santos¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, PPGA – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura – Mestrando e Doutorado, Cascavel – PR.

E-mail autor correspondente: abel.sza@gmail.com
Artigo enviado em 17/07/2018, aceito em 14/08/2019.

Resumo: Diante da necessidade de aumentar a matriz energética e a mitigação de impactos ambientais, este artigo analisa o potencial energético de parte do aterro sanitário do município de Cascavel – PR. Inicialmente realizado o georreferenciamento dos drenos para então realizar medições de vazão de biogás proveniente do material depositado em célula já fechada. A célula em estudo recebeu RSU por 8 anos e no decorrer de 2 e 3 anos após sua finalização foi medido a emissão e temperatura de biogás que escoou através dos drenos do aterro sanitário; foram obtidos respectivamente, 378,3 m³h⁻¹ após 2 anos e 315,8 m³h⁻¹ após 3 anos de sua finalização. Calculou-se o potencial energético apresentado pelos dois anos de medição sendo respectivos 1,7 MWh⁻¹ e 1,5 MWh⁻¹. As emissões de biogás foram maiores onde a temperatura de saída do gás é maior.

Palavras-chave: Biogás, Lixo Sólido Urbano, Potencial energético.

Potential for the biogas emission of the cell already completed at the municipal sanitary landfill of Cascavel - PR

Abstract: Faced with the need to increase wind energy and environmental mitigation, this article analyzes the energy potential of water in the municipality of Cascavel - PR. Initially, the geo-referencing of the drains was performed and then the biogas flow measurements of the material deposited in existing cells were carried out. The study cell received RSU for 8 years and did not elapse after 2 and 3 years after its completion by medication the emission and temperature of biogas that flowed through the drains of the landfill; were accumulated, 378.3 m³h⁻¹ after 2 years and 315.8 m³h⁻¹ after 3 years of its completion. The energy potential of two to three years was calculated as 1.7 MWh⁻¹ and 1.5 MWh⁻¹. Biogas emissions are higher than the gas outlet temperature is higher.

Keywords: Biogas, Urban Solid Waste, Energy potential.

Introdução

O ser humano distingue-se dos animais em sua capacidade de modificar o meio em que vive para benefício próprio. Tal característica é importante para que melhore sua vivência e traga desenvolvimento para sua sociedade. Porém, esse crescimento traz agravantes, como os resíduos que são descartados todos os dias por todas as figuras da sociedade. E há a necessidade de tratamento desse material para a manutenção da vida no planeta, haja vista que segundo Barragan et al. (2017), metade da população mundial vive em cidades e são responsáveis por cerca de 70 a 80% das emissões de gases estufa de todas as naturezas, inclusive com seu Resíduo Sólido Urbano (RSU). O mesmo trabalho informa ainda que essa população consome dois terços da energia primária, sendo notória a necessidade em tratar o RSU e produzir energia limpa.

Os aterros sanitários são semelhantes a grandes biodigestores, são reatores que emitem biogás. A necessidade de maiores fontes de energia tem fomentado pesquisas com o biogás de aterro sanitário com a finalidade de o utilizar para produção de energia elétrica. Segundo Bilotta & Ross (2014), tal ação é devido ao aumento de cidades que coletam e tratam corretamente o seu resíduo sólido urbano em aterros sanitários devidamente projetados e sob respaldo técnico ambiental.

segundo Hoo et al. (2018) na Malásia Peninsular cerca de 95 % de seu lixo é depositado em aterros sanitários, gerando uma quantidade de 310.220 t de CH₄ no ano de 2010. Tan et al. (2014), dizem que o maior gerador de metano (CH₄) na Malásia são os aterros sanitários, que contribuem para um percentual de 47% de CH₄.

A modernização traz modificações constantes ao tipo de material depositado nos aterros sanitários, necessitando de constante estudo e aperfeiçoamento das técnicas de tratamento para se adaptar a novos materiais e a proposição a população para que façam o descarte correto de materiais que possam ser reciclados. Verificado por Agudelo et al. (2012) As políticas públicas são instrumentos importantes e benéficos para mitigação de impactos ambientais, pois, através dela é possível conscientizar a população mostrando a necessidade de mitigar impactos ambientais. Como mostra Rada (2014), houve um aumento de embalagens no lixo, ocasionado pelo maior consumo de produtos já processados e a diminuição da parcela orgânica no RSU, o que é indesejável pois, este material poderia ser aproveitado através da reciclagem.

O RSU é depositado no aterro sanitário e tem inicialmente sua decomposição por meio aeróbio, que ocorre comumente logo após a inserção do material; após o esgotamento de oxigênio, acontece a decomposição anaeróbia, caracterizando o aterro como um reator biológico (PINAS et al., 2016). A produção de biogás no aterro é dependente das reações químicas que o meio possibilita, sendo influenciada por fatores como percentual de oxigênio, disponibilidade de nutrientes, pH, temperatura e da taxa de decomposição do material (SCHIRMER et al., 2014).

Com a geração de energia elétrica do gás de aterro sanitário é possível além de melhorar a matriz energética, ter mitigação de impactos ambientais. Segundo Pan et al. (2018), pode-se reduzir cerca de 43,2 % o impacto ocasionado pela emissão do biogás de aterro o utilizando para a geração de energia elétrica. Além da digestão e fermentação anaeróbia, há outros meios de obtenção de energia através do RSU,

O resíduo sólido urbano pode ser aproveitado para gerar energia também por processos termoquímicos (liquefação hidrotérmica, pirólise e gaseificação) (LEE et al., 2017).

O biogás pode cooperar para a matriz energética de um país, contribuindo para precaução da falta ou limite de energia (YANG et al., 2012; GUIMARAES e GALVAO, 2015). Segundo Raboni e Urbini (2014), como o biogás após filtragem, tem características semelhantes ao gás natural, e portanto é possível de o injetar em dutos de gás natural, inclusive, países da União Europeia estão há anos fazendo uso desta técnica, e com o gás gerando tanto energia elétrica quanto sendo utilizado diretamente em automóveis; destacando-se a Alemanha que em 2011 injetou 275 milhões de m³ de biometano na rede de gás e pretende aumentar para 10 bilhões m³ de biometano até o ano de 2030.

O biogás é um gás composto, com seu percentual constituído principalmente por metano (CH₄), de 50% a 70% e dióxido de carbono (CO₂) entre 25% a 45% , cerca de 5% de outros gases (H₂S, CO, N₂, O₂, entre outros) (PERLINGEIRO, 2014; GUIMARÃES e GALVÃO, 2015). O biogás pode cooperar para a matriz energética de um país, contribuindo para precaução da falta ou limite de energia (YANG, ZHANG, LI, 2012; GUIMARÃES, GALVÃO, 2015). Segundo Raboni e Urbini (2014), como o biogás após filtragem, tem características semelhantes ao gás natural, e portanto é possível de o injetar em após a purificação odo biogás, é possível obter o biometano, e assim pode-se injetar em dutos de gás natural.

Uma boa maneira de estimar as emissões ocasionadas por aterros é a medição in loco da vazão do gás liberado tanto nos drenos, quanto pela superfície que envolve o aterro; caso não seja devidamente compactado, ou este não

tenha tratamento correto, pode ser que o gás escape para a atmosfera por trincas ou pela porosidade da superfície; fazendo com que parte do biogás se oxide e gere CO₂ (LEE et al., 2017).

Considerando que foram realizados tratamentos corretos para evitar fugas pelas paredes superficiais do Aterro Sanitário Municipal de Cascavel, nosso objetivo foi medir a vazão de biogás dos drenos de escoamento após 2 e 3 anos do encerramento das atividades na célula.

Material e Métodos

Os dados foram obtidos no decorrer dos anos de 2012 e 2013 no aterro municipal de Cascavel, localizado entre as nascentes do Rio Boi Piguá e do Córrego são José, sub-bacia do Rio azul, afluente da margem esquerda do Rio Piquiri; com latitude 24°51'04 Sul, longitude 53°29'08" Oeste e altitude média de 670 m. O Clima da região é subtropical úmido com temperatura média de 19 °C. A área do município destinada ao aterro sanitário compreende 237.800 m², porém concentrou-se o estudo em parte desta área, em células já devidamente preenchidas e prontas.

As células em estudo, iniciaram o trabalho em maio de 2003 e recebeu até outubro de 2011 em média 225 toneladas por dia de resíduos domiciliares que se enquadram na classe IIA, conforme a NBR 10004. Segundo informações coletadas com responsáveis pelo aterro, as trincheiras foram impermeabilizadas com o princípio da compactação de solo para a redução de permeabilidade. Os gases gerados no aterro circulam através da malha horizontal e vertical de drenagem. Há também drenos horizontais que captam o chorume para ser tratado nas lagoas.

Primeiramente, fez-se necessário o georreferenciamento de cada dreno de biogás do aterro. Utilizando-se GPS da marca Garmim modelo 62SC para a

leitura das coordenadas UTM , WGS 84, e posteriormente fez-se o mapa com auxílio do software de sistema de informação Georreferenciada (SIG) .

O sistema de coleta de dados relacionados ao biogás foi confeccionado a partir de um tubo de pvc com diâmetro de 60 mm e 1,20 metros de comprimento, onde, há 1 metro de distância de entrada do gás, fez-se um furo com pouco mais do diâmetro da ponteira de medição do anemômetro , a fim desta entrar mais comodamente, evitando-se que houvesse danos no equipamento e para que o gás nessa distância tivesse escoamento menos turbulento; o cano de PVC foi então acoplado a um sistema de lonas que recobrem a manilha evitando-se assim que houvesse erro na leitura causado pela fuga do gás ou mesmo pela entrada do vento. Na ponta do cano próximo à saída do gás, colocou-se um apoio vertical de arame doce, este serviu para dar sustentação a uma fita fina de plástico que serviu para nos denotar a direção e sentido do vento, que pode interferir na medição; seja pela obstrução causada pela pressão contrária à saída ou pelo aumento da velocidade devido a força de arrasto causada pelo vento.

Para a leitura da vazão de gás, adotou-se a medição indireta com o auxílio de um anemômetro de fio quente, da marca Instrutherm modelo tafr-180 dotado também de um termômetro interno, o qual foi introduzido perpendicularmente à corrente de gás há 1 metro da entrada, possibilitando que o gás pudesse ficar em um regime de escoamento mais homogêneo.

O diâmetro do tubo de medição foi adotado em 40 mm, em razão da baixa velocidade de saída do gás em alguns drenos, assim, contempla-se melhor a faixa de leitura do anemômetro evitando erros de medição. Para as

medições, escolheu-se dias em que o vento estivesse com menor intensidade para não atrapalhar o fluxo do gás no sistema de medição.

As medições contemplaram 12 repetições para cada um dos 22 drenos, no período entre os meses de junho e agosto de cada ano. Cada instalação da lona na manilha teve um tempo de 10 minutos para obtenção da estabilidade do gás no interior do dreno antes da leitura da vazão do gás. Após o tempo de aguardo, introduzia-se a ponteira do anemômetro no interior do cano, de modo que o gás escoasse livremente entre o fio de medição; aguardava o tempo para estabilidade no display do equipamento e anotava-se os valores medidos de temperatura e vazão; após realizado esta medição, mudava-se a ponteira de posição dentro do conduto e submetia-se a outra medição, possibilitando a média de medição.

Para o cálculo da vazão volumétrica, considerou-se o gás como tendo comportamento termodinâmico de um gás ideal e sendo necessário a correção da medição em cada dreno para a CNTP (Condições Normais de Temperatura e pressão) sendo para 0°C e 1 bar. Sendo calculada a vazão segundo a equação abaixo:

$$Q = (V * A) * \frac{273,15}{273,15 + T} * P$$

Em que : Q = vazão normalizada de biogás (Nm³ s⁻¹); V= velocidade do gás na saída para atmosfera(m s⁻¹); A= área da tubulação de saída do gás (m²); T= temperatura de medição (°C); P=pressão atmosférica local(bar).

A pressão barométrica foi adquirida de uma estação meteorológica Davis Vantage Pro 2 instalada no município de cascavel, onde coletamos dados contendo máxima e mínima condição de pressão no município nos dias de medição.

A conversão da vazão de biogás em energia elétrica é calculada através da equação:

$$P_e = Q_{biogás} * E_{el} * PCI$$

Onde: P_e =potência disponível a cada hora (kWh^{-1}); $Q_{biogás}$ =vazão horária de biogás (m^3s^{-1}); E_{el} =eficiência de conversão em energia elétrica; PCI=poder calorífico inferior do biogás.

Resultados e Discussão

A tecnologia GPS de navegação difundiu-se muito entre o meio rural, sendo de fácil acesso para o levantamento de áreas e pontos georreferenciados (TONELLO E BORTOLUZZI, 2011). Pode-se utilizar informações de pontos georreferenciados para a construção de mapas 3d em software interpolador, onde é possível

utilizar edição múltipla segundo a necessidade de apresentação (SMULEAC et al., 2017).

O georreferenciamento dos drenos, em coordenadas UTM, WGS 84, obtendo a latitude e longitude. Na Figura 1 apresentamos a localização de cada dreno medido. Percebe-se concentração dos drenos em alguns lugares e outros lugares aparentemente não se tinha drenos. A administração do aterro não forneceu documentação para a localização de cada dreno.

Smuleac et al. (2017), analisaram o uso de softwares interpoladores para o cálculo de volumes de áreas, dizendo que o resultado é muito parecido com o real. A Figura 1 mostra a planta da célula em estudo, juntamente com os drenos enumerados de 1 a 22.

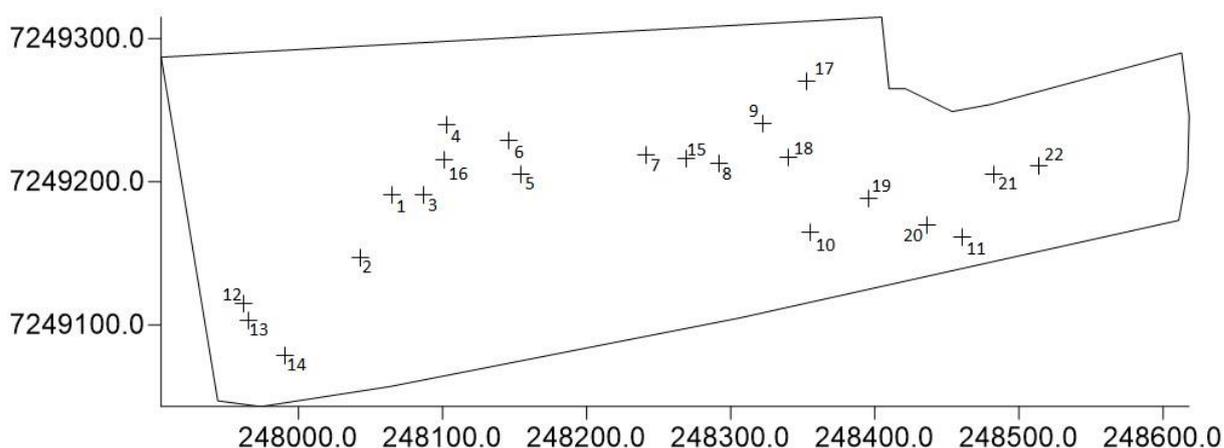


Figura 1. Georreferenciamento da área e drenos estudados dos em 2012 e 2013.

É possível que tenham outros drenos nesta parte já finalizada do aterro, porém, a difícil locomoção dentro da área, nos limita devido a grande quantidade de vegetação, que atingem até mais de 1,5 metros de altura e também o perigo de encontrar animais peçonhentos.

Na Figura 2 temos o histograma e polígono de frequência com as médias de emissões de gás para o ano de 2012, vê-se que os drenos com vazões mais baixas, menores que $18 m^3h^{-1}$ somam 68,2% dos 22 drenos medidos, e apenas 2 drenos demonstraram variação muito acima da média obtida.

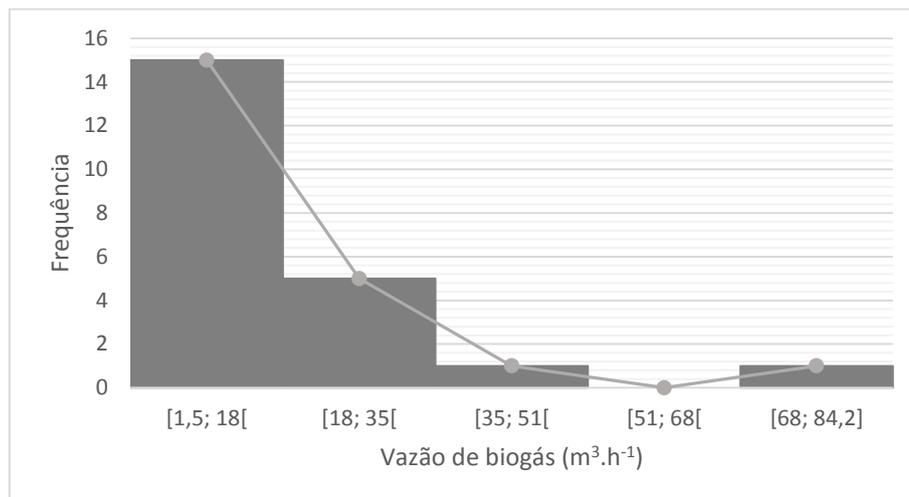


Figura 2. Histograma e polígono de frequência para vazões de biogás em 2012.

A menor média de vazão foi de $1,51 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ para o dreno 16, e a maior média de vazão foi para o dreno 9 com $84,1 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Dos drenos medidos, a vazão média foi de $17,2 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, com desvio padrão (s) de $\pm 18,37$, mostra que as médias de vazão possuem baixa dispersão e coeficiente de variação (cv) de 1,06, assim os valores medidos neste ano são estatisticamente homogêneos e a temperatura média foi de $25,6 \text{ }^\circ\text{C}$ com desvio padrão de $\pm 3,42$. A Figura 4 mostra as médias de vazões com suas respectivas temperaturas médias medidas em cada um dos 22 drenos medidos no ano de 2012.

No ano de 2013 as vazões menos expressivas, com médias menores que $17,26 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ somam 86,36% dos 22 drenos medidos, e a menor média de vazão foi de $2,66 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ para o dreno 4, e a maior média de vazão foi para o dreno 8 com $75,68 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. A Tabela de medições está apresentada na Tabela 2. Dos drenos medidos, a vazão média foi de $14,35 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, com desvio padrão (s) $\pm 15,39$ e a temperatura média foi de $27,26 \text{ }^\circ\text{C}$.

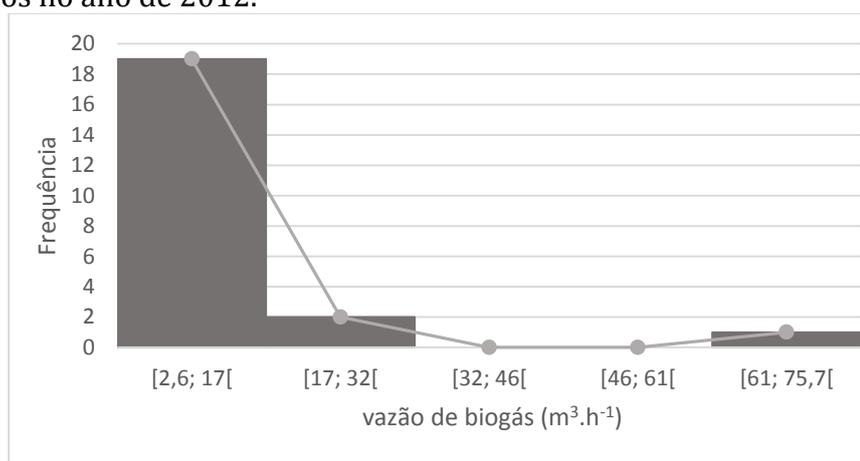


Figura 3. Histograma e polígono de frequência para vazões de biogás em 2013.

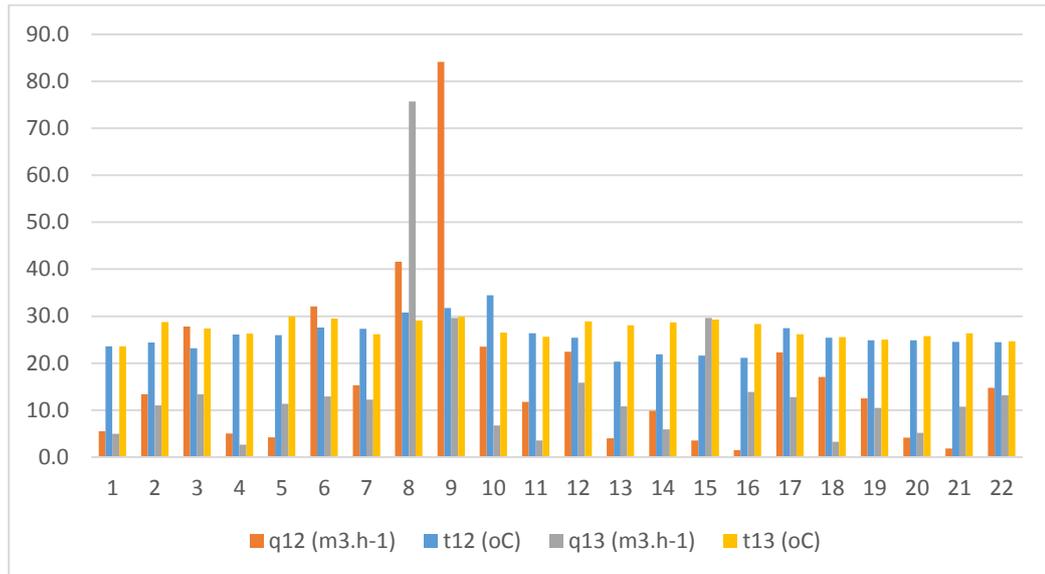


Figura 4. vazão de cada dreno nos dois anos com suas respectivas temperaturas.

Através da Figura 4 temos a média de cada vazão e temperatura de saída do gás para cada dreno. O desvio padrão das temperaturas é de +/- 1,86, mostrando pouca variação, porém, generalizando, percebe-se que a temperatura onde a vazão de gás é maior, tem temperatura mais elevada que drenos onde a vazão horária é menor.

Comparando os resultados de medições realizadas em cada ano, percebe-se que houve uma redução de 19,81 % na emissão de biogás nos drenos do segundo para o terceiro ano após o encerramento das atividades, pode verificar as diferenças na Tabela 1. Tal diminuição está relacionada a quantidade de material orgânico disponível para ser decomposto. Segundo Silva et al. (2013), após o término da operação do aterro, há uma significativa queda da produção de biogás, isto em razão de grande parte do material depositado ser de origem orgânica e que rapidamente gera biogás. Ao decorrer do tempo, o biogás vai sendo gerado de forma mais lenta.

A emissão de gás pelo dreno ao decorrer do tempo está diretamente influenciada pelas reações químicas que possibilitam a disponibilidade de carbono biodegradável. Quanto maior o poder de biodegradação do carbono, maior é o poder de produção e emissão do biogás no aterro (SIDDIQUI et al., 2017). Para Tchobanoglous et al. (1993), a emissão de biogás acontece conforme a disponibilidade de matéria orgânica que fica suscetível a ação microbológica, influenciada pelas condições de umidade e podendo se estender por vários anos o processo.

As bactérias metanogênicas são sensíveis a temperatura, sendo assim, a produção de biogás é maior a temperaturas mais altas (XAVIER e LUCAS, 2010). Na execução das medições, verificou-se que maiores emissões de biogás estavam acontecendo com temperaturas maiores no escoamento do gás pelos drenos. Vazões expressivamente mais altas que as demais tinham escoamento próximo ou maior que 30 °C. Segundo Prado, Campos & Silva (2010), a temperatura influencia na concentração de metano

no biogás, crescimos na temperatura proporcionam maior produção de biogás. Entretanto, comparando a temperatura e vazão de um ano para outro, observou-se que embora emitisse mais gás após 2 anos de

encerramento da célula, a temperatura média em 26,77 °C, foi 6% menor que a do ano seguinte, 28,5. A Tabela 1 mostra o resumo das diferenças de emissões de biogás e temperatura entre os dois anos de medições.

Tabela 1. Diferenças entre emissões de biogás no aterro nos anos de 2012 e 2013

	Vazão (Nm ³ h ⁻¹)		Temperatura (°C)	
	2012	2013	2012	2013
mínimo	1,51	2,66	20,31	23,6
máximo	84,11	75,68	34,43	30
média	17,2	14,35	26,77	28,5
desvio padrão	18,37	15,39	3,35	1,82

O tipo de trabalho realizado na operação do aterro sanitário influencia grandemente o potencial energético do aterro. Pan et al. (2018), em medição de vazão de biogás em aterro sanitário na Índia, onde o mesmo relata que não houve adequada compactação das camadas, portanto vazava biogás por todas as extremidades de solo do aterro, mesmo assim obteve uma vazão média dos drenos de 0,9 m³h⁻¹.

Os motores de combustão interna não aproveitam toda energia do combustível para gerar energia devido a dissipações em forma de calor, sonora e em razão de seu projeto e construção. Segundo Silva et al. (2018), a eficiência energética de motor de combustão

interna na conversão de combustível biogás para energia elétrica é de 17 %.

O biogás possui poder calorífico menor que outros gases, isto em razão de sua menor concentração de metano quando comparado a outros gases. Jo e Kim (2017) cita que o poder calorífico inferior do metano é 45.734 kJ.kg⁻¹, e considerando o percentual médio a 60% de metano (CH₄) no biogás de aterro, temos que o biogás de aterro possui 27.440 kJ.kg⁻¹. Deste modo, a Tabela 4 nos mostra o potencial energético de biogás para cada ano de aferição de fluxo de biogás do aterro de Cascavel-PR.

Tabela 2. Potencial energético verificado nas células já finalizadas do aterro

ano	vazão	potência disponível (MWh ⁻¹)
2012	378,3	1,7
2013	315,8	1,5
total	694	3,2

Conclusão

O estudo da vazão de biogás nas células já finalizadas do aterro municipal de Cascavel, mostrou uma vazão expressiva para os dois anos de medição. Em 2012, a vazão medida foi

378,3 m³h⁻¹; em 2013 a vazão de biogás foi 315,8 m³h⁻¹, 19,8% menor em relação a medida no ano anterior, assim como o esperado pela literatura.

O potencial de geração de energia elétrica para o ano de 2012 foi 1.7 MWh⁻¹, já 2013 teve potencial energético

menor, -16,5 % em relação ao ano anterior com 1,5 MWh⁻¹. As vazões foram expressivas e mostram a necessidade da utilização deste potencial para geração de energia elétrica.

Os resultados mostram que há potencial de aproveitamento desta energia, sendo viável a utilização para geração de energia elétrica. Podendo abastecer a prédios públicos como escolas e hospitais e assim ter benefícios ambientais como a mitigação impactos até a economia e eficiência dos gastos públicos.

Referências

- AGUDELO, V. C. M.; WOUTER, R.W.A. L.; ADRIAAN, R. M.; Huub H. M. R. Harvesting urban resources towards more resilient cities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 64, n. 1, p. 3-12. 2012.
- BARRAGAN, E.A.; TERRADOS, C.J.; ZALAMEA, L.E.; ARIAS, R.P. Electricity production using renewable resources in urban centres. Proceedings Of The Institution Of Civel Engineers. **Energy**, v. 171, n. 1, p. 12-25, 2017.
- GUIMARÃES, C.M.M.; GALVAO, V. Análise da rede de colaboração científica sobre biogás. **Perspect. ciênc. inf.**, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 120-133. 2015.
- HOO, P. Y.; HASHIM, H.; & HO, W. S. Opportunities and challenges: Landfill gas to biomethane injection into natural gas distribution grid through pipeline. **Journal of Cleaner Production**, v. 175, p. 409-419. 2018.
- JO, J.H.; KIM, W. Market potential of biomethane as alternative transportation fuel. **J Mater Cycles**
- Waste Manag**, v. 20, n. 1, p. 864-876. 2017.
- KINNON, M. A. M.; BROUWER, J.; SAMUELSEN, S. The role of natural gas and its infrastructure in mitigating greenhouse gas emissions, improving regional air quality, and renewable resource integration. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 62, n. 1, p. 62-92. 2017.
- LEE, U.; HAN, J.; WANG, M. Evaluation of landfill gas emissions from municipal solid waste landfills for the life-cycle analysis of waste-to-energy pathways. **Journal Of Cleaner**, v. 166, n. 1, p. 335-342. 2017.
- PAN, H.Y.; GENG, Y.; JIANG, P.; DONG, H.J.; SUN, L.; WU, R. An emergy based sustainability evaluation on a combined landfill and LFG power generation system. **Energy**, v. 143, n. 1, p. 310-322. 2017.
- PERLINGEIRO, C. A. G. **Biocombustíveis no Brasil: fundamentos, aplicações e perspectivas**. Rio de Janeiro: Synergia, 2014.
- PINAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; OLIEIRA, M. A.; ROALCABA, O. D. C. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 33, n. 1, p. 175-188. 2016.
- RABONI, M.; URBINI, G. Production and use of biogas in Europe: a survey of current status and perspectives. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 9, n. 2, p. 191-202. 2014.
- RADA, E. C. Energy from municipal solid waste. **WIT Transactions on Ecology**

and **The Environment**, v. 190, n. 1, p. 945-957. 2014.

SCHIRMER, W. N.; JUCÁ, J. F. T.; SCHULER, A. R. P.; HOLANDA, S.; JESUS, L. L. Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) landfill: evaluation in refuse of different ages. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 31, n. 2, p. 373-384. 2014.

SIDDIQUI, F. Z.; ZAIDI, S.; MANUJA, S.; PANDEY, S.; KHAN, M. E. Development of models for prediction of the energy content of disposed MSW from an unsecured landfill. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 11, p. 1129-1136. 2017.

SILVA, F. P.; SOUZA, S. N. M.; KITAMURA, D. S.; NOGUEIRA, C. E. C.; OTTO, R. B. Energy efficiency of a micro-generation unit of electricity from biogas of swine manure. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. 3, p. 3900-3906. 2018.

SILVA, T. N.; FREITAS, F. S. N.; CANDIANI, G. Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 18, n. 2. 2013.

SMULEAC, A.; NEMES, L.; CRETAN, L. A.; NEMES, N. S.; Smuleac, L. Comparative Study of the Volumetric Methods Calculation Using GNSS Measurements. **Materials Science and Engineering**, v. 245, n. 1, p. 1-8. 2017.

TAN, S.T.; HASHIM, H.; LIM, J.S.; HO, W.S.; LEE, C.T.; YAN, J. Energy and emissions benefits of renewable energy derived from municipal solid waste: analysis of a low carbon scenario in Malaysia. **Appl. Energy**, v. 136, n. 1, p. 797-804. 2014.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S.A. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management**. McGraw Hill Inc., New York. 1993.

TONELLO, M. S.; BORTOLUZZI, E. C. Viabilidade técnica do uso de receptores GPS de navegação para fins de amostragem sistemática de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 351-357. 2011.

XAVIER, C. A. N.; JUNIOR, J. L. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 2, p. 212-223. 2010.

YANG, Y.; ZHANG, P.; LI, G. Regional differentiation of biogas industrial development in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1; p. 6686-6693. 2012.