

PROPOSTA DE ATERRO CONSORCIADO ENTRE TRÊS CIDADES DA BACIA DO PARANÁ 3 PARA OBTENÇÃO DE BIOGÁS

Camila Zeni Amaral¹ (camilazamaral@gmail.com), Julio Cezar Girard² (juliocgirardi@gmail.com),
Jessica Sibila Guardez³ (jessica.sibilag@gmail.com)

1 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR-MD

2 UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE

3 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR-MD

RESUMO

Atualmente, a implantação de um aterro sanitário necessita de um alto investimento financeiro, o qual impacta significativamente o orçamento de um município que possui baixa arrecadação, tornando-se um investimento alto para pequenos municípios. Nos casos desses municípios, a Lei nº 11.107/2005 (Lei de Resíduos Sólidos) fomenta a utilização da Lei de Consórcios Públicos para os municípios, sendo possível a partir desta, atingir melhores resultados de manejo, tratamento e disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos. O estudo realizado, apresenta uma proposta de aterro sanitário consorciado entre as cidades vizinhas Marechal Cândido Rondon, Ouro Verde do Oeste e Toledo, situadas na Bacia do Paraná 3, no oeste do estado do Paraná. O estudo também norteou-se em estimativas de produção de biogás nesta proposta, sendo informações obtidas através do site do IBGE cidades e de dados disponibilizados pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental.

Palavras-chave: Aterro Consorciado, Biogás.

PROPOST OF LANDFILL BETWEEN THREE CITIES OF PARANÁ BASIN 3 TO OBTENTION OF BIOGAS.

ABSTRACT

Currently, the implementation of a landfill requires a high financial investment, which significantly impacts the budget of a municipality that has low collection, making it a high investment for small municipalities. Law No. 11.107 / 2005 (Solid Waste Law) promotes the use of the Public Consortia Law for Municipalities, based on results of management, treatment and disposal of Urban Solid Waste. The present study presents a proposed landfill between the neighboring cities Marechal Cândido Rondon, Ouro Verde do Oeste and Toledo, located in the Paraná Basin 3, in the western part of the state of Paraná. The study was also based on estimates of biogas production in this proposal, being obtained through the IBGE cities website and data provided by the National Secretariat of Environmental Sanitation.

Keywords: Landfill, Biogas.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico atual baseia-se, principalmente, na indução de consumo, o qual vem se tornando insustentável, visto que resulta no aumento da geração de resíduos e a consequente superlotação de aterros sanitários.

A ABNT (1984), define aterro sanitário como técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) no solo, sem causar danos à saúde pública e sua segurança, minimizando impactos ambientais, método este que utiliza de princípios de engenharia para confinar resíduos sólidos ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra em determinados intervalos de tempo.

A implantação de um aterro sanitário demanda de alto investimento financeiro, o qual vem a impactar significativamente nos orçamentos dos municípios com baixa arrecadação, bem como

uma determinada escala de produção que não estão acessíveis a muitos dos municípios brasileiros.

Para esses casos, a Lei dos Resíduos Sólidos fomenta a utilização da Lei dos Consórcios Públicos (Lei nº 11.107/2005), que estabelece normas gerais para a União, os Estados, o Distrito Federal e os municípios celebrarem consórcios públicos com a finalidade seja a realização de interesses comuns desses entes públicos.

Através destes, é possível promover melhores resultados no manejo, tratamento e disposição final dos resíduos, entre municípios. Os consórcios públicos consistem no agrupamento geográfico de municípios para o compartilhamento de aterros sanitários. O que acarreta na redução de área utilizada para a construção do aterro, ganhos de escala e profissionalização de operação e concentração das ações de fiscalização ambiental.

Em um aterro, as condições de armazenamento de resíduos e a ação de fatores naturais ativam processos físicos, químicos e biológicos de transformação. Esses resíduos sofrem ação de diferentes bactérias, fungos e protozoários que oxidam a matéria orgânica para suas necessidades energéticas. Desta maneira, observa-se o consumo de substratos e obtenção de produtos que se tornam matéria-prima para outras populações, gerando novos produtos, como por exemplo, o biogás (Castilhos Junior et al., 2003). Um aterro de resíduos sólidos pode ser considerado como um reator biológico onde as principais entradas são os resíduos e a água e as principais saídas são os gases e o chorume.

O biogás de aterro é composto por vários gases, alguns presentes em grande quantidade como o metano e o dióxido de carbono, os quais são os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos compostos biodegradáveis dos resíduos orgânicos. A distribuição exata do percentual de gases variará de acordo com a antiguidade do aterro (BRASIL, 2012).

Os fatores que podem influenciar na produção de biogás em um aterro são a composição dos resíduos dispostos, a umidade, o tamanho das partículas, temperatura, pH, idade dos resíduos, projeto e operação do aterro (BRASIL, 2012).

Os aproveitamentos do biogás podem ser realizados utilizando-se caldeiras, motores de combustão interna, turbinas a gás, células combustíveis e outros conversores de energia. O uso direto do biogás de aterro pode ser realizado para abastecimento de uma rede local de gás canalizado ou diretamente para alguma aplicação específica em processos industriais. Nesses casos, o biogás serve como combustível auxiliar ou como substituto de algum derivado de petróleo. Outra possibilidade é o uso do biogás em pequenas aplicações como no aquecimento de estufas acompanhado pela recuperação do dióxido de carbono resultante da queima nas caldeiras (Ensinas, 2003).

O projeto de captação do biogás em um aterro tem como principal finalidade o aproveitamento de energia contida neste produto, sendo que a conversão desse gás pode ser realizada para o atendimento de necessidades energéticas, geração de eletricidade, vapor ou combustível automotivo.

O presente trabalho apresenta uma proposta de aterro sanitário consorciado entre as cidades vizinhas Marechal Cândido Rondon, Ouro Verde do Oeste e Toledo situadas na Bacia do Paraná 3, no oeste do estado do Paraná.

Marechal Cândido Rondon é um município com área territorial de 748,002 km² e população de 46.819 habitantes (IBGE, 2010).

Ouro Verde do Oeste possui área territorial de 293,042 km² e população de 5.692 habitantes (IBGE, 2010).

Toledo compreende 1.196,999 km² de área territorial e população de 119.313 habitantes, limita-se a oeste com Marechal Cândido Rondon (IBGE, 2010).

2. OBJETIVO

- Definir a viabilidade de um aterro consorciado entre três cidades pertencentes à Bacia do Paraná 3 com o intuito de obter biogás.

3. METODOLOGIA

As informações necessárias sobre as cidades para a estimativa de produção de biogás na proposta do aterro consorciado foram obtidas através do site do IGBE cidades, e através dos dados disponibilizados pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental sobre o diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos.

Com estas informações foi possível realizar uma projeção populacional das cidades (pop) utilizando-se as projeções geométricas e projeções aritméticas. A geração per capita de resíduos (GPC) foi estimada a partir dados encontrados na literatura e os volumes anuais de resíduos coletados nas três cidades (V_t) foram projetados de acordo com a geração per capita de resíduos, a taxa de coleta destes resíduos (T_x) em cada município e um peso específico de resíduos estipulado ($0,5 \text{ t.m}^3$), expresso na equação 1:

$$V_t = \frac{GPC \cdot pop \cdot T_x}{1000 \cdot 0,5} \quad (1)$$

Já a possível quantidade de metano aproveitável (Q_{CH_4}) que o aterro consorciado pode vir a gerar foi estimada de acordo com a metodologia proposta pelo IPCC (1996) para depósitos de resíduos sólidos, onde utiliza-se da quantidade de resíduos sólidos depositados no aterro por ano (RSU_d) e a estimativa de metano total que estes resíduos podem gerar (L_0), isto subtraído de sua possível oxidação (OX). Expresso pela equação 2 e 3:

$$Q_{CH_4} = (RSU_d \cdot L_0) \cdot (1 - OX) \quad (2)$$

$$L_0 = FCM \cdot COD \cdot COD_R \cdot FEM \cdot 16/12 - MR \quad (3)$$

Para a estimativa de metano total gerada pelos resíduos (L_0), calculou-se a fração de carbono orgânico degradável (COD) dos resíduos de cada município, uma vez que, esta fração é mensurada em fator da composição gravimétrica dos resíduos. Sendo expressa pela equação 4:

$$COD = 0,4a + 1,7b + 0,15c + 0,3d \quad (4)$$

Dos três municípios estudados apenas Toledo possuía dados de composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos, sendo estes apresentados na Tabela 1:

Tabela 1: Dados de composições gravimétricas de RSU do município de Toledo/PR.

Tipo de Resíduos	Quantidade de Resíduo (%)
Matéria Orgânica	69,21
Plástico	8,45
Vidro	1,37
Metal/Alumínio	0,95
Papel	9,05
Outros	8,63
Perda	2,34

Por não apresentar todos os tipos de resíduos necessários para o cálculo através da equação 4, a mesma foi adaptada de acordo com Valle e Milani (2009), sendo:

$$\text{COD} = 0,4a + 0,16(b+c) + 0,3d \quad (5)$$

Portanto o COD calculado utilizando a gravimetria obtida foi de 0,149 ou 14,9%. Já para os demais municípios, utilizou-se o valor padrão de resíduos sólidos urbanos do Brasil indicados pelo IPCC, que é de 12% ou 0,12.

Para os demais fatores presentes na estimativa de metano gerado pelos resíduos foram utilizados valores de acordo com as recomendações do método. Portanto os valores foram de 1 para a fração de correção do metano (FCM), 0,77 para a fração de COD degradada, 0,5 para a fração de metano no biogás do aterro (FEM), e o fator de recuperação de metano (MR) estipulado em 50%. Ainda por recomendação do método, o valor de oxidação do metano utilizado foi 0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as estimativas populacionais para os próximos 10 anos, onde estas foram geradas a partir dos censos do IBGE de 1991, 1996, 2000, 2007 e 2010. A partir destes censos foram elaboradas a projeção aritmética que é estimada a partir das populações anteriores e futuras e o intervalo de tempo para crescimento da população, gerando assim uma crescente constante para cada ano. Já a projeção geográfica é gerada pelo produto do último valor de população conhecido por uma constante denominada razão, de maneira que o último valor de população obtido é sempre multiplicado por esta razão para a obtenção do próximo valor.

Assim com estas duas projeções foram calculadas as populações médias que podem ser observadas na tabela 2:

Tabela 2: Cálculo das populações médias.

	Marecha I	Toledo	Ouro Verde
2017	46529	130507	5493
2018	46487	132155	5465
2019	46446	133815	5437
2020	46404	135488	5409
2021	46363	137174	5381
2022	46322	138874	5353
2023	46280	140586	5325
2024	46239	142313	5297
2025	46198	144053	5270
2026	46156	145807	5242
2027	46115	147575	5214

Como os censos do IBGE apresentaram uma maior população para o ano de 1991 que o apresentado para o ano de 2010 nos municípios de Marechal Cândido Rondon e Ouro Verde do Oeste o crescimento populacional foi negativo apresentando assim uma estimativa decrescente nas populações destas cidades. Porém o município de Toledo apesar de apresentar uma maior população para o ano de 1991 que para o próximo ano onde foi realizado o censo (1996), nos censos subsequentes ocorreu um crescimento positivo fazendo assim com que as projeções de populações para este município foram também positivas.

Também estimou-se o volume de resíduos gerados por cada população que seria disposto no aterro consorciado, isto através da geração per capita, população estimada e a taxa de coleta de resíduos sólidos urbanos em cada município. Esta taxa de coleta foi obtida através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, sendo que Marechal Cândido do Rondon apresentou 0,8, Toledo 0,95, e Ouro Verde do Oeste 0,7. O volume estimado de resíduos sólidos urbanos coletados pode ser observado através da tabela 3 (m³/ano).

Tabela 3 - Volume estimado de RSU coletados (m³/ano).

	Marechal Cândido Rondon	Toledo	Ouro Verde do Oeste
2017	10451	40973	770
2018	10440	41573	766
2019	10429	42179	761
2020	10418	42790	756
2021	10408	43407	752
2022	10397	44031	747
2023	10386	44660	743
2024	10375	45296	738
2025	10365	45938	734
2026	10354	46586	729
2027	10343	47241	725

Como demonstrado na equação 1, o volume de resíduos sólidos urbanos gerados em cada município depende da quantidade de população no mesmo, desta maneira, como houve uma estimativa de decréscimo populacional para os municípios de Marechal Cândido Rondon e Ouro Verde do Oeste o mesmo aconteceu com o volume estimado de resíduos sólidos urbanos, porém estes dois municípios apresentam uma taxa de coleta de resíduos relativamente baixa, se comparado com o município de Toledo, portanto uma vez que seja melhorada a eficiência na coleta dos resíduos nestas cidades o volume gerado aumentará propiciando uma maior quantidade de biogás gerada pelo aterro consorciado entre os três municípios.

Por meio da equação 2, dos fatores calculados, e considerando os volumes de resíduos sólidos urbanos observados na tabela 3, estimou-se os valores de metano aproveitável para os resíduos de cada município e a possível geração total do biogás pelo aterro consorciado por ano, como pode ser observado na tabela 4 (t/ano):

Tabela 4 - Valores estimados de metano aproveitável (t/ano).

	Marechal Cândido Rondon	Toledo	Ouro Verde do oeste	Geração total de metano pelo aterro consorciado
2017	321,878	1571,23	23,719	1916,827
2018	321,546	1594,227	23,578	1939,351
2019	321,214	1617,445	23,438	1962,097
2020	320,883	1640,89	23,298	1985,071
2021	320,552	1664,563	23,158	2008,273
2022	320,22	1688,468	23,019	2031,707
2023	319,889	1712,608	22,881	2055,378
2024	319,558	1736,986	22,743	2079,287
2025	319,227	1761,605	22,605	2103,437
2026	318,896	1786,47	22,467	2127,833
2027	318,565	1811,582	22,33	2152,477

Para a estimativa de geração de metano o cálculo foi realizado separadamente para cada cidade, pois deve ser considerada a composição gravimétrica dos resíduos de cada cidade, porém os municípios de Marechal Cândido do Rondon e Ouro Verde do Oeste não possuem uma composição gravimétrica de seus resíduos sólidos urbanos, sendo assim o valor de carbono orgânico degradável foi considerado o valor padrão estabelecido pelo IPCC para resíduos urbanos no Brasil.

Através da análise da tabela 4 observa-se que, enquanto o aterro consorciado continuar recebendo resíduos, a geração de metano sempre estará crescente, uma vez que na equação 2, a geração de metano é dependente do volume de resíduos depositados no aterro.

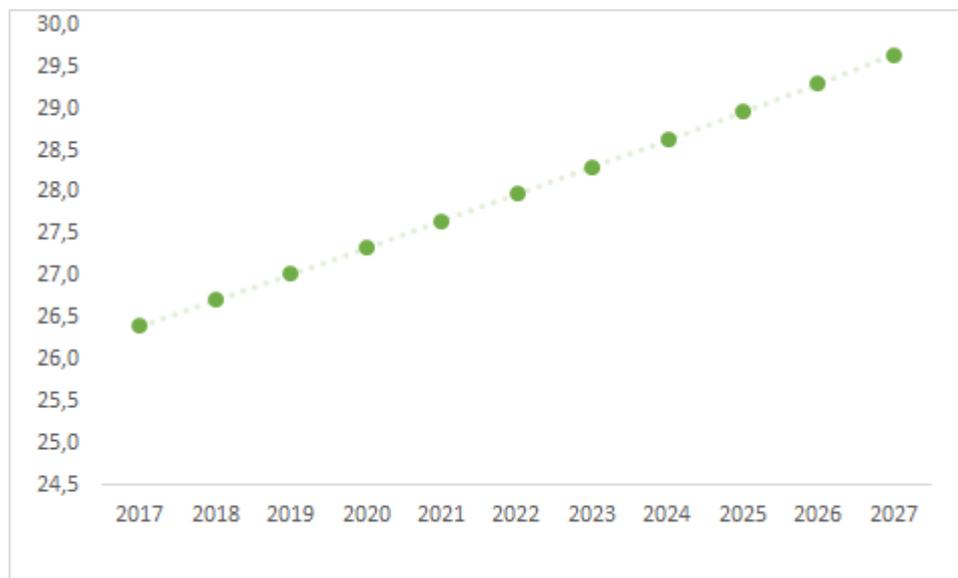
Com base na tabela 4, que demonstra as quantidades de metano aproveitável por ano, é possível estimar a geração de energia elétrica a partir do biogás, considerando a densidade do metano igual a $0,7168 \text{ kg.m}^{-3}$ através das equações 6 e 7 adaptadas de Abreu et al., 2009.

$$P_x = \frac{V_{\text{CH}_4} \cdot PC_{\text{CH}_4}}{31.536.000} \cdot \frac{1}{1000} \quad (6)$$

$$E = P_x \cdot 8.761 \quad (7)$$

Onde PC_{CH_4} é o poder calorífico do metano, definido como $35,53.106 \text{ J.m}^{-3}$, E é a energia obtida e V_{CH_4} é o volume de metano encontrado a partir dos valores da tabela 4 e a densidade do metano. Seguindo estas equações obteve-se um valor estimado para P_x no ano de 2017 de 3012,912 kW e uma energia disponível de 26,396 GWh. Dessa forma, estimou-se a energia disponível para cada ano, expressas através do gráfico 1.

Gráfico 1 - Energia estimada disponível para cada ano.



Sabe-se que os valores da figura acima são teóricos por não considerar as perdas relativas à eficiência do moto-gerador. Ferlin (2003) *apud* Silva *et al.* (2008) cita que a eficiência de motores ciclo Otto deve ser considerada 28%.

Sendo assim, para o ano de 2017, a potência disponível seria de 843,61 kW e energia disponível de 7,39 GWh enquanto para o ano de 2027 a potência disponível estimada é de 947,33 kW e energia disponível de 8,30 GWh.

Segundo o caderno estatístico do IPARDES, 2017 o consumo de energia elétrica do município de Ouro Verde do Oeste no ano de 2015 foi de 14.981 MWh ou 14,981 GWh, portanto a energia disponível do aterro consorciado no ano de 2017 supre cerca da metade do consumo da cidade, e essa disponibilidade de energia aumenta com o passar dos anos, como observado no gráfico 1. Abbasi, Tauseef e Abbasi (2012) citam que a produção de gás dentro de um aterro sanitário cresce devagar até atingir um pico por volta dos 20 anos, depois disso essa produção cai comprometendo a viabilidade econômica do projeto, porém neste estudo levou-se em consideração uma escala de 10 anos, visto que não se discutiu os aspectos técnicos do projeto e sim a viabilidade de disponibilidade de biogás de um aterro consorciado. Contudo ressalta-se a importância em se aumentar a escala de anos e considerar os aspectos técnicos do aterro para estudos futuros que façam a proposição de aterros para obtenção de biogás.

5. CONCLUSÃO

Do ponto de vista ambiental a implementação de aterros consorciados é interessante visto que minimiza os impactos ambientais locais e garante uma significativa redução na emissão de gases de efeito estufa como o metano (Cavalcanti *et al.*).

Quanto aos aproveitamentos do biogás, estes são diversos, como, a utilização de caldeiras, motores de combustão interna, turbinas a gás, células combustíveis e outros conversores de energia. O uso direto do biogás de aterro também pode ser realizado para o abastecimento de uma rede local de gás sendo este, canalizado para alguma aplicação específica em diversos processos (Ensinas, 2003).

Zanette (2009) destaca, que projetos de aproveitamento de biogás para geração de energia elétrica em aterros sanitários e estações de tratamento de efluentes são geralmente viáveis quando atende ao menos 200.000 habitantes.

Apesar do número de habitantes nestas cidades serem inferior a essa faixa, o consórcio de aterros com esta finalidade é uma opção interessante para exemplos como este, visando que os resíduos de municípios maiores produzem biogás suficiente para gerar energia elétrica para



quase metade da população do município de menor porte, a onde é mais apropriado para a instalação do aterro. Esta prática também favorece os municípios de maior porte que via de regra possuem menor área rural para a instalação de aterros sanitários, visto sua grande área urbana.

REFERÊNCIAS

ABBASI, Tasneem; TAUSEEF, S.m.; ABBASI, S.a.. **Biogas Energy**. New York: Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 2012. 184 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419: **Aterro Sanitário**. Rio de Janeiro, 1984.

BRASIL. (2005) Presidência da República. Casa Civil. Lei no 11.107, de 06/04/005. **Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111107.htm>. Acesso em: 06 abril de 2017.

BRASIL. (2010) Presidência da República. Casa Civil. Lei no 12.305, de 02/08/2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm>. Acesso em: 06 de abril de 2017.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Aproveitamento energético do biogás de aterro sanitário**. 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 05 de abril de 2017.

BRASIL. (2016) Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo dos resíduos sólidos urbanos – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES. 143 p.

CASTILHOS JUNIOR, A. B.; MEDEIROS, P.A; FIRTA, I. N.; LUPATINI, G.; SILVA. J. D. **Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos**. In: CASTILHOS JUNIOR, A. B. Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 19- 50.

CAVALCANTI, Fernando Antônio Araújo et al. SUGESTÃO DE ATERRO SANITÁRIO CONSORCIADO ENTRE TRÊS MUNICÍPIOS PERNAMBUCANOS PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS. **Revista da Ciência da Administração**, Revista Online, v. 11, 2015. Disponível em: <http://www.fcapsadm.br/wp-content/uploads/2015/07/6-artigo-FERNANDO-ARA%C3%A7O_FCAP_CX-SD.pdf>. Acesso em: 05 de abril de 2017.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP**. 2003. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades Paraná. 2010.
MMA, Ministério do Meio Ambiente - **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS - IBGE. (2010) **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE. 219 p.

ZANETTE, André Luiz. **POTENCIAL DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS NO BRASIL.** 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2009.