

### III-427 - APROVEITAMENTO DO BIOGÁS E REDUÇÃO DE EMISSÕES CAUSADORAS DO EFEITO ESTUFA – A EXPERIÊNCIA DO ATERRO SANITÁRIO DE BELO HORIZONTE

**Cicero Antonio Antunes Catapreta**

Eng. Civil, Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG), Engenheiro Sanitarista da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, MG, Brasil.

**Heuder Pascele Batista**

Eng. Civil, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte – SLU/BH. Departamento de Tratamento e Disposição Final de Resíduos. Rodovia BR 040 – Km 531 – Jardim Filadélfia - Belo Horizonte – MG. Brasil - Tel: (31) 3277-9808 – e-mail: catapret@pbh.gov.br

#### RESUMO

Segundo projeções do IRENA – International Renewable Energy Agency, em 2025, a quantidade diária de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerada em todo o planeta deve aumentar para 2.200 milhões de toneladas por ano, sendo que os serviços disponíveis de infraestrutura para reduzir, reutilizar, reciclar e recuperar os resíduos são muitas vezes ausentes, mal estabelecidos, ou em grande parte, são informais, sendo que, geralmente, as práticas de gestão desses resíduos levam estes a serem dispostos em aterros sanitários e lixões. No Brasil, os resíduos dispostos nos aterros sanitários apresentam grande quantidade de material biodegradável, especialmente matéria orgânica, o que contribui para que haja uma maior geração de biogás, o qual é composto, basicamente, pelos seguintes gases metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), e pode contribuir para a ocorrência do fenômeno conhecido efeito estufa e que vem contribuindo para o aquecimento global. Destes, o gás metano talvez seja o mais preocupante, já que é cerca de 20 vezes mais efetivos, na retenção de calor na atmosfera, do que o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esse gás metano gerado nos aterros, geralmente, é liberado para a atmosfera de forma descontrolada, não permitindo que seja explorado o seu potencial energético. Considerando isso, no aterro sanitário de Belo Horizonte/MG, encerrado em 2007, foi implantado um sistema de aproveitamento do biogás gerado neste aterro, o qual é composto de uma planta de captação, queima e geração de energia elétrica. Até 2014, foi possível evitar que cerca de 870.000 tCO<sub>2equi</sub> fosse lançado na atmosfera, assim como foram gerados cerca de 105.000 MW de energia elétrica e, aproximadamente,  $126,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  de biogás foram captados sendo que, destes,  $58,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  eram metano.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro Sanitário, Destinação Final, Resíduos Sólidos, Biogás, Efeito Estufa.

#### INTRODUÇÃO

Segundo dados da IRENA – International Renewable Energy Agency (2012), em 2012 eram geradas, globalmente, cerca de 1,3 bilhões de toneladas por ano de resíduos sólidos, sendo que, de acordo com suas projeções, em 2025, a quantidade diária de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerada em todo o planeta deve aumentar para 2,2 bilhões de toneladas por ano, sendo que os serviços disponíveis de infraestrutura para reduzir, reutilizar, reciclar e recuperar os resíduos são muitas vezes ausentes, mal estabelecidos, ou em grande parte, são informais, sendo que, geralmente, as práticas de gestão desses resíduos levam estes a serem dispostos em aterros sanitários e lixões.

No Brasil, a forma de destinação final de resíduos sólidos urbanos – RSU adotada, em sua maioria, é a disposição sobre o solo, em aterros sanitários, aterros controlados e lixões. No entanto, essa disposição de resíduos, nas unidades mencionadas, pode causar impactos ambientais diversos, como a poluição e contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, e do ar, por meio da queima indiscriminada desses resíduos em depósitos irregulares (lixões), e pela emissão de gases poluentes (biogás).

O biogás gerado em aterros sanitários é proveniente da decomposição da fração orgânica dos resíduos sólidos e é composto de diversos gases que se apresentam em quantidades maiores (principais gases) e outros que se

apresentam em pequenas quantidades (traços de gases) e que podem ser tóxicos a representar riscos à saúde pública (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Os resíduos dispostos nos aterros sanitários, principalmente no Brasil, apresentam grande quantidade de material biodegradável, especialmente matéria orgânica, o que contribui para que haja uma maior geração de biogás.

O biogás gerado nos aterros sanitários é composto basicamente pelos seguintes gases: metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). O metano e o dióxido de carbono são os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos compostos biodegradáveis dos resíduos orgânicos. A distribuição exata do percentual de gases variará conforme a antiguidade do aterro.

Esse biogás, devido ao percentual de metano e dióxido de carbono em sua composição, como mencionado, é um dos gases formadores do fenômeno conhecido efeito estufa e que vem contribuindo para o aquecimento global.

Além de contribuírem para o efeito estufa, o biogás gerado em aterro sanitário pode ocasionar prejuízos causados à saúde humana e à vegetação, decorrentes da formação de ozônio troposférico ou da exposição a alguns constituintes do biogás que podem causar câncer e outras doenças que atacam fígado, rins, pulmões e o sistema nervoso central. Há ainda, o risco de incêndios e explosões em instalações próximas aos aterros, uma vez que este gás é altamente inflamável. Outro efeito negativo é o inconveniente causado por odores desagradáveis que podem gerar distúrbios emocionais em indivíduos que residem em áreas próximas aos aterros, além de favorecer a desvalorização das propriedades (Garcilasso, 2008).

Dessa forma, é relevante, para mitigar as mudanças globais do clima, que sejam implementados projetos efetivos para evitar as emissões de metano provenientes de aterros de resíduos sólidos urbanos para a atmosfera.

Uma das opções para evitar a emissão descontrolada deste biogás, é realizar a sua captação, controlada, em aterros sanitários e, posteriormente, promover sua destruição por meio da oxidação térmica do metano, ou seja, sua queima, para geração de energia.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo apresentar a experiência do município de Belo Horizonte no aproveitamento do biogás, que é gerado no aterro sanitário municipal, para geração de energia.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO (BELO HORIZONTE)**

Localizada na Região Sudeste do Brasil, Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, é a sexta cidade mais populosa do país, possuindo uma população estimada de aproximadamente 2,45 milhões de habitantes e se insere em uma Região Metropolitana, formada por 34 municípios, cuja população é estimada em 5,4 milhões, sendo a terceira maior aglomeração populacional brasileira, sétima da América Latina e 62<sup>o</sup> do mundo.

O aumento populacional observado nas últimas décadas resultou no processo de expansão urbana que levou à conurbação de Belo Horizonte com os municípios de Contagem, Betim e Sabará, e outros, formando a RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte.

O município é delimitado pelas latitudes 19°46'35'' e 20°03'34'' Sul e pelas longitudes 43°51'47'' e 44°03'47'' Oeste, e possui altitudes variando de 750 a 1.390 metros, assim como possui uma área de aproximadamente 330 km<sup>2</sup>. Belo Horizonte possui clima ameno, com temperatura média anual de 21 graus Celsius, possuindo ainda um alto índice de área verde por habitante (27,15m<sup>2</sup>) e 69 parques municipais. Possui períodos chuvosos e secos bem definidos, sendo que o chuvoso dura cerca de 5 meses (outubro a março) e o seco aproximadamente 7 meses (abril a setembro).

#### CTRS BR 040

A Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR 040 (CTRS BR 040) se encontra localizada às margens da Rodovia BR 040, na região Noroeste de Belo Horizonte e iniciou sua operação em 1975, com início das atividades do aterro sanitário e Usina de Reciclagem e Compostagem. O aterro sanitário funcionou durante 14 anos como um aterro convencional, instalado e operado de conformidade com as normas que então regulamentavam o funcionamento desse tipo de instalação. Em 1989, passou a ser operado como um “aterro energético”, com a captação forçada e o tratamento do biogás gerado no mesmo, possibilitando a recuperação do metano e seu aproveitamento como combustível alternativo.

Este tratamento era realizado pela empresa GASMIG – Companhia de Gás de Minas Gerais. Entretanto, em função de fatores diversos, em 1995 encerraram-se as atividades de captação e uso do biogás na área da CTRS. Nesse mesmo ano, o aterro voltou a ser operado como aterro convencional, tendo sido encerrado e descomissionado em 2007, após de 32 anos de funcionamento. Em 2009, a exploração (captação e reaproveitamento) de biogás voltou a ser realizada.

A CTRS BR 040 ocupa uma área de 144 hectares, sendo que o aterro sanitário ocupa uma área de 65 hectares subdivididos em 7 áreas (células), que foram utilizados para a disposição dos RSU, e possui 65 m de altura no ponto mais elevado. Aproximadamente 23 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos foram dispostos neste aterro durante sua operação.

Os resíduos depositados incluem resíduos domésticos, como restos alimentares, papel, plástico, vidros, metais, papelão, têxteis, borracha, couro, matéria orgânica e resíduos de construção e demolição (areia, tijolos, blocos de concreto etc.). Na Figura 1 pode ser observada uma vista aérea do aterro sanitário de Belo Horizonte.



**Figura 1: Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR 040 – layout geral.**

Tendo em vista o potencial de exploração de biogás gerado na decomposição da fração orgânica dos resíduos sólidos aterrados no aterro sanitário da CTRS BR040, com vistas à redução da emissão de gases do efeito estufa, a Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte - SLU, em 2007, contratou uma empresa especializada (Consórcio Horizonte- ASJA) para captação de biogás gerado e respectiva certificação e comercialização dos créditos de carbono relacionados a esta atividade, nos termos do Tratado de Kyoto e normas da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCC - *United Nations Framework on Climate Change*).

Além de vários aspectos positivos relacionados à exploração do biogás, destacam-se aqueles que advêm com a melhoria das condições ambientais com a obtenção de recursos financeiros associados à comercialização dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER). A exploração e queima do biogás também traz grandes vantagens para o Município, ou seja, a redução das emissões ao meio ambiente, utilização da matéria-prima energética presente na massa de resíduos aterrados e obtenção de recursos financeiros oriundos da comercialização dos CER, mencionado anteriormente.

## RESULTADOS

A unidade de captação de biogás implantada no aterro sanitário de Belo Horizonte é composta por uma rede de poços de captação de biogás, a qual é interligada a subestações de controle e regulação e esta, por sua vez, à uma estação de aspiração e queima e subestação de geração de energia.

Em relação à rede de poços (Figura 2), esta é constituída de uma malha de 199 poços profundos, os quais foram construídos com tubos de 200 mm de PEAD (polietileno de alta densidade) perfurados ao longo de sua extensão (rede secundária), e revestidos com brita gnaíse. Estes poços possuem profundidade variando entre 8 e 47 m, conforme a altura do maciço de resíduos, porém sempre limitada a 4 e 5 m da base do aterro, de maneira a evitar o rompimento da camada de impermeabilização.

Os poços são interligados a 13 subestações de regulação, por meio de tubos de PEAD de 90 mm de diâmetro, construídas em aço galvanizado, as quais têm a finalidade de propiciar o controle e regulação da pressão de biogás captado, além de permitir a manutenção e eventuais problemas nas linhas de captação e sucção.

As subestações (Figura 3) são equipadas com entradas individuais para cada tubo de captação procedente dos poços de captação. Ao todo, cada subestação possui entrada para 15 poços. Para a interligação das subestações à estação de aspiração, queima e geração de energia, são utilizados tubos com diâmetro de 400 mm.



Fonte: SLU, 2011

**Figura 2 - Poço de Captação**



Fonte: SLU, 2011

**Figura 3 - Subestação de Captação**

A estação de aspiração/exaustão possui dois aspiradores turbo de múltiplos estágios, projetados para esta aplicação em particular, os quais são capazes de aplicar as diferentes pressões para todas as linhas de captação de biogás e, ao mesmo tempo, são capazes de empurrar o biogás tratado para alimentar os motores e tochas de queima.

Em função do sistema automático de controle de pressão, consegue-se manter constante a pressão de gás, garantindo também um fluxo contínuo de biogás para os conjuntos de geradores. De forma a minimizar o ruído produzido, foram instaladas coberturas com material à prova de som para envolver os sopradores.

Esta seção foi projetada com dois aspiradores com as mesmas características em paralelo para garantir uma operação livre de problemas, mesmo no caso de uma falha que ocorre em uma das máquinas. Em seguida, o biogás passa por um filtro seco, que consiste em barris feitos no local em aço carbono equipados com filtros de poliéster, a fim de remover as impurezas sólidas do fluxo de gás (bem como uma parte da micro-contaminantes que seriam prejudiciais aos geradores de energia elétrica).

A unidade de queima está seção é equipada com um *flare* enclausurado de alta temperatura, para garantir que o biogás capturado seria completamente destruído (queimado) com segurança. O *flare* instalado na planta da CTRS BR 040 foi projetado e implantado para garantir uma temperatura de combustão entre 800 °C e 1.200 °C e são equipados com equipamentos necessários para monitorar a eficiência da queima de combustão em contínuo, de acordo com o "*Tool to determine project emissions from flaring gases containing methane*". Na Unidade da BR 040 foram instalados, inicialmente, dois *flares*. Atualmente, somente um *flare* encontra-se instalado nesta unidade.

A Unidade da BR 040 possui um sistema de controle empregado consiste em um sistema instrumental capaz de controlar todos os parâmetros físico-químicos do biogás, bem como controlar os principais equipamentos da Unidade, tanto para a alimentação e para a Unidade de Geração. Todos os dados do sistema analisador e vários instrumentos nas linhas são obtidos em um sistema de controle tipo PLC, que controla todas as operações automáticas da planta, exceto os conjuntos motor-gerador a gás, que têm um controle próprio de regulação fornecido juntamente com os conjuntos. O sistema de controle de todos os processos de regulação e controle necessários para a correta execução conjuntos.

Os instrumentos analíticos instalados incluem um analisador de CH<sub>4</sub> (metano) e O<sub>2</sub> (oxigênio). Uma percentagem excessiva de oxigênio na composição do biogás é percebida por um alarme remoto que fecha automaticamente uma válvula geral para romper o fluxo de gás.

Além disso, há um dispositivo de gestão e de alarme para os parâmetros mais importantes (pressão, temperatura, capacidade, frequência, etc.) relacionados com a operação da Unidade. O fluxo de biogás (na linha principal, na tocha e linhas de alimentação), a eficiência de combustão do *flare*, e as produções do projeto de eletricidade e consumos e todos os outros parâmetros relevantes, são considerados e monitorados.

Compõe a planta, uma Usina Termelétrica – UTE (Figura 4), a qual é composta de 3 (três) conjuntos geradores de energia, cada um com potência de 1,4 MW e de uma subestação integradora, onde ficam armazenados os sistemas de proteção e medição de energia elétrica. A UTE passou a funcionar efetivamente em março de 2011.



Fonte: SLU, 2011

**Figura 4 – Usina termelétrica**

Na Tabela 1 pode ser observada a quantidade de biogás captado pela planta ao longo do período de operação, enquanto que a Tabela 2 apresenta os dados de volume de gás metano reaproveitado.

A Tabela 3 apresenta a quantidade de CO<sub>2equiv</sub> evita na atmosfera até maio de 2014, cujo volume de biogás captado e beneficiado foi suficiente para evitar a emissão de cerca de 840.000 tCO<sub>2eq</sub> (toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente) para a atmosfera.

Na Tabela 4 pode ser observada a geração de energia elétrica alternativa (energia verde) no período compreendido entre os anos de 2011 e 2013. Destaca-se que essa energia vem sendo, quase em sua totalidade, comercializada junto à CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foi apresentada a experiência de Belo Horizonte, no aproveitamento do biogás produzido no aterro sanitário municipal, para geração de energia e conversão em créditos carbono. Esta captação e beneficiamento de biogás, provavelmente, está contribuindo para melhoria da qualidade de vida da população local, por meio do controle das emissões atmosféricas e da melhoria das condições de saúde, uma vez que a população do entorno do aterro sanitário de Belo Horizonte reside bem próximo às suas divisas.

**Tabela 1 – Quantidade de biogás captado no aterro sanitário de Belo Horizonte (Nm<sup>3</sup>)**

Período	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Janeiro	-	2.423.692	3.517.844	2.878.034	1.541.854	-
Fevereiro	-	1.997.526	2.802.675	2.677.202	3.782.479	600.022
Março	-	1.978.536	2.879.311	3.035.836	2.689.946	1.277.556
Abril	-	2.462.618	2.637.661	2.879.988	2.296.566	443.953
Maio	-	2.595.702	2.779.236	3.002.173	2.565.444	1.236.437
Junho	-	2.506.633	2.624.769	2.878.415	2.144.871	1.501.763
Julho	-	2.233.520	2.881.428	2.909.795	1.749.103	1.413.324
Agosto	-	2.457.185	2.818.465	2.461.496	813.254	1.429.282
Setembro	-	1.776.859	2.823.898	2.699.623	119.695	-
Outubro	-	880.884	3.070.820	2.662.332	170.671	-
Novembro	1.644.616	2.232.527	2.864.633	2.652.674	2.316.692	-
Dezembro	1.450.329	3.308.567	2.903.084	2.391.656	742.975	-
<b>Total</b>	<b>3.094.944</b>	<b>26.854.250</b>	<b>34.603.825</b>	<b>33.129.223</b>	<b>20.933.549</b>	<b>7.902.336</b>

**Tabela 2 - Quantidade de gás metano captado no aterro sanitário de Belo Horizonte (Nm<sup>3</sup>)**

Período	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Janeiro	-	1.197.304	1.685.047	1.424.627	888.725	-
Fevereiro	-	920.860	1.334.073	1.334.853	1.796.677	202.327
Março	-	973.439	1.500.121	1.407.717	1.111.486	452.027
Abril	-	1.186.982	1.252.889	1.299.739	936.999	127.770
Maio	-	1.232.958	1.286.786	1.340.470	1.013.350	420.265
Junho	-	1.158.065	1.328.133	1.212.964	967.337	534.713
Julho	-	1.076.557	1.541.564	1.183.123	905.336	514.850
Agosto	-	1.147.506	1.510.697	1.073.212	452.576	508.125
Setembro	-	797.810	1.476.898	1.097.936	57.849	-
Outubro	-	429.872	1.520.056	1.096.348	52.055	-
Novembro	605.219	1.114.031	1.417.994	1.112.266	943.357	-
Dezembro	775.926	1.531.867	1.460.251	1.109.250	301.797	-
<b>Total</b>	<b>1.381.144</b>	<b>12.767.249</b>	<b>17.314.511</b>	<b>14.692.506</b>	<b>9.427.542</b>	<b>2.760.077</b>

**Tabela 3 - Quantidade aproximada de CO<sub>2</sub> equivalente evitado na atmosfera (t)**

Período	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Janeiro	-	17.843	25.111	21.230	13.244	0
Fevereiro	-	13.723	19.881	19.892	26.775	3.015
Março	-	14.506	22.355	20.978	16.564	6.736
Abril	-	17.689	18.671	19.369	13.963	1.904
Maio	-	18.374	19.176	19.976	15.101	6.263
Junho	-	17.258	19.792	18.076	14.416	7.968
Julho	-	16.043	22.973	17.631	13.492	7.672
Agosto	-	17.100	22.513	15.993	6.744	7.572
Setembro	-	11.889	22.009	16.362	862	-
Outubro	-	6.406	22.652	16.338	776	-
Novembro	9.019	16.602	21.131	16.575	14.058	-
Dezembro	11.563	22.828	21.761	16.530	4.497	-
<b>Total</b>	<b>20.582</b>	<b>190.261</b>	<b>258.026</b>	<b>218.952</b>	<b>140.492</b>	<b>41.131</b>

**Tabela 4: Energia gerada**

Período	2011 <sup>(1)</sup>	2012	2013	2014
Janeiro	2.899	2.976	1.844	1.903
Fevereiro	2.531	2.775	2.142	1.666
Março	2.835	2.918	2.258	1.782
Abril	2.806	2.775	2.140	1.665
Maio	2.850	2.698	2.071	1.774
Junho	2.753	2.564	1.953	1.652
Julho	2.523	2.485	1.914	1.560
Agosto	2.602	2.428	921	1.606
Setembro	2.793	2.356	864	1.547
Outubro	2.938	2.332	1.823	1.600
Novembro	2.908	2.325	1.801	1.575
Dezembro	2.995	2.278	1.893	1.630
<b>Total</b>	33.434	30.909	21.624	19.959
<b>Média</b>	2.786	2.576	1.802	1.663

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Garcilasso, V. P., Velázquez, S. M. S., Coelho, S. T. Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente de Aterro Sanitário - Estudo de Caso. In: XII Congresso Brasileiro de Energia, 2008, Rio de Janeiro/RJ. Anais do XII Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro: COPPE, 2008.
2. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. Censo Demográfico de 2010. Rio de Janeiro: FIBGE, 2011.
3. IRENA – International Renewable Energy Agency. Renewable Energy Policy in Cities: Selected Case Studies. City in focus: Belo Horizonte, Brazil (2012). Disponível em <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=286> (acesso em 31/01/2015).
4. SLU - Superintendência de Limpeza Urbana. Experiência de Aproveitamento Energético do Biogás do Aterro Sanitário de Belo Horizonte. In: Workshop Digestão Anaeróbia como Alternativa para o Manejo de Resíduos Sólidos em Municípios. Belo Horizonte, 2011.
5. Tchobanoglous, G., Thiesen, H., Vigil, S. A. Integrated solid waste management - engineering principles and management issues. New York: McGraw-Hill International Editions, 1993, 978 p.
6. UNFCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (2011) . Project 3464 : Exploitation of the biogas from Controlled Landfill in Solid Waste Management Central – CTRS / BR.040. PROJECT DESIGN DOCUMENT FORM (CDM PDD).. Disponível em <https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1267696608.78/view> (acesso em 31/01/2015).