

ÁREA TEMÁTICA: Recuperação de Materiais e Energia

## DIMENSIONAMENTO E PROJETO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE BIOGÁS EM UM ATERRO SANITÁRIO

*Ariéli Luísa Couto (arielicouto@gmail.com)*

*Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS*

### RESUMO

Devido à problemática da geração e disposição final de resíduos sólidos urbanos, desenvolveu-se o aterro sanitário, método de tratamento sanitariamente seguro à saúde humana e ao meio ambiente. Contudo, o aterro sanitário concebe dois subprodutos, o lixiviado e o biogás. O biogás é um gás constituído basicamente de dióxido de carbono e metano, que pode ser utilizado em substituição aos combustíveis fósseis, mas para isto, é necessário captá-lo do aterro e conduzi-lo até seu local de queima ou tratamento. O presente trabalho contempla o dimensionamento e o projeto de um sistema de captação do biogás oriundo de um aterro sanitário na região serrana do Rio Grande do Sul, que consiste em poços de captação, rede de transporte e pré-tratamento. Os drenos de captação foram dimensionados de modo que a disposição dos mesmos abrangesse 92% da área do aterro sanitário, totalizando 60 poços de captação com um espaçamento de 112,45 m. A tubulação de transporte foi subdividida em cinco trechos com o objetivo de dimensioná-la conforme a vazão de biogás em cada segmento, resultando em: trechos A1 e A2 com diâmetro de 50 mm, trecho B com diâmetro de 75 mm, trecho C com diâmetro de 225 mm e trecho D com 315mm de diâmetro. Por conseguinte, foi possível estabelecer a perda de pressão decorrente na tubulação, utilizada para identificar a potência necessária para extrair o biogás do aterro sanitário, correspondente à 16721 W. Para o pré-tratamento, foi proposto um sistema de remoção de condensados, constituído de dez condensadores distribuídos a uma distância de 167 m, onde cada condensador aprisiona cerca de 570 litros de água, diariamente.

**Palavras-chave:** Aterro sanitário; biogás; captação.

## DIMENSIONING AND DESIGN OF THE BIOGAS COLLECTION SYSTEM IN A SANITARY LANDFILL

### ABSTRACT

The sanitary landfill was developed due to the problem of the generation and final disposal of urban solid waste, a method of sanitary treatment that is safe for human health and the environment. However, the landfill generates two by-products, leachate and biogas. Biogas is a gas consisting primarily of carbon dioxide and methane which can be used instead of fossil fuels. For this, it is necessary to capture it from the landfill and take it to its place of burning or treatment. The present work contemplates the dimensioning and the design of a biogas capture system from a sanitary landfill in the mountains region of Rio Grande do Sul, which consists of capture wells, transport networks, and pre-treatment. The capture wells were dimensioned so that their disposal covered 92% of the landfill area, totaling 60 capture wells with a spacing of 112.45 m. The transport pipeline was subdivided into five sections in order to dimension it according to the biogas flow in each segment, resulting in sections A1 and A2 with a diameter of 50 mm, section B with a diameter of 75 mm, section C with a diameter of 225 mm and section D with 315 mm in diameter. Therefore, it was possible to establish the loss of pressure resulting from the pipeline, used to identify the power required to extract the biogas from the landfill, corresponding to 16721 W. For the pre-treatment, a condensate removal system was proposed, consisting of ten condensers distributed at a distance of 167 m, where each condenser traps around 570 liters of water, daily.

**Keywords:** Landfill; biogas; abstraction.

## 1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial despertou o desejo de objetos de consumo na sociedade, originando a produção em grande escala, o que ampliou consideravelmente o número e a diversidade dos resíduos gerados nas áreas urbanas. (CAVINATTO; RODRIGUES, 2010). O acúmulo desses resíduos tornou-se um problema com o surgimento das grandes regiões metropolitanas, pois há manifestações de doenças em decorrência de seus vetores e geração de áreas inóspitas devido a deposição inadequada dos mesmos. (ALCÂNTARA, 2007).

Desde então, faz-se necessário desenvolver técnicas cada vez mais confiáveis para o manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). (LIMA, 2004). Há algum tempo, a técnica de utilizar o Aterro Sanitário (AS) como destino final dos RSU está se expandindo devido ao baixo custo e relativa simplicidade de execução. (ALCÂNTARA, 2007). Entretanto, o AS emite dois subprodutos da decomposição dos resíduos sólidos em um ambiente anaeróbio, que são o lixiviado e o biogás. O biogás é uma mistura de gases constituído essencialmente de dióxido de carbono e metano em proporções variadas, conforme a composição do substrato confinado no AS. (LIMA, 2004). Como apresenta a Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição média do biogás

Componente	Composição
Metano (CH <sub>4</sub> )	50% - 75% em vol.
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	25% - 45% em vol.
Água (H <sub>2</sub> O)	2% - 7% em vol.
Sulfeto de hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	20 – 20.000 ppm
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	< 2% em vol.
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	< 2% em vol.
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	< 2% em vol.

Fonte: BMELV (2010)

Isto é, cada biogás possui um potencial energético diferente, que varia conforme a porcentagem de metano na sua composição, ou seja, quanto maior a quantidade de metano maior o seu poder calorífico. (MAGALHÃES, 1986). Segundo Pereira (2010, p. 155), um metro cúbico de biogás equivale energeticamente a aproximadamente:

- 1,5 m<sup>3</sup> de gás de cozinha (GLP);
- 0,52 a 0,6 litros de gasolina;
- 0,9 litros de álcool combustível;
- 1,43 kWh de eletricidade;
- 2,7 kg de lenha (madeira queimada).

A produção de biogás no interior do AS representa um problema para a gestão de resíduos em geral. No entanto, simultaneamente, configura um enorme potencial de crescimento do setor de utilização do gás de aterro, pois se o biogás for capturado e utilizado em substituição dos combustíveis fósseis, além de representar uma fonte de energia, a emissão de carbono decorrente dessa queima já pertencera ao ciclo natural da atmosfera atual, ao contrário dos combustíveis fósseis que emitem o carbono retido a milhares de anos no interior da crosta terrestre. Diminuindo assim, a emissão de gases poluentes. (KARLSSON, 2014).

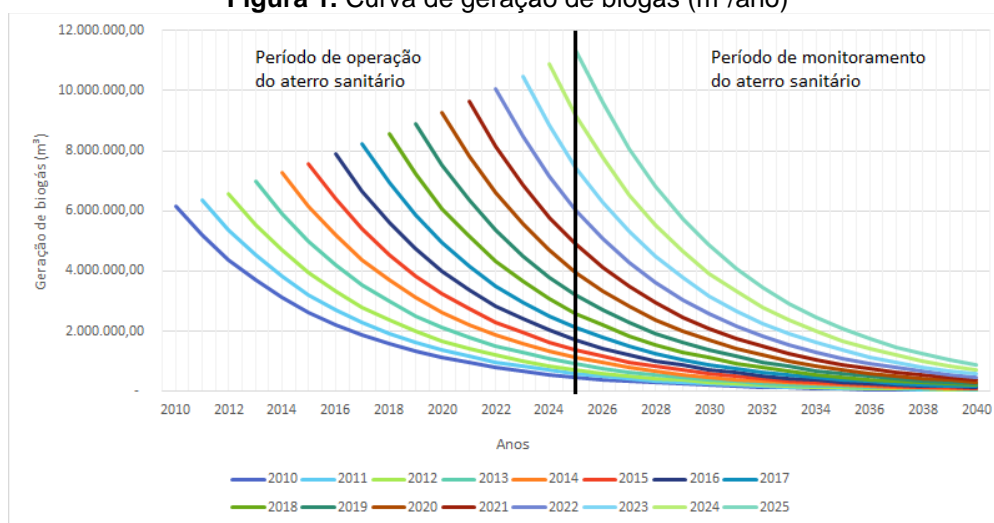
## 2. OBJETIVO

Propor um sistema de captação do biogás gerado em um aterro sanitário da região serrana do Rio Grande do Sul, visando uma posterior aplicação como fonte de energia.

## 3. METODOLOGIA

O aterro sanitário utilizado para realizar o presente estudo de caso localiza-se na região serrana do Rio Grande do Sul. Com base na sua área superficial de 275 hectares, sua profundidade de 4 metros e na estimativa de geração de biogás durante o período de operação e monitoramento, demonstrado na Figura 1, foi possível realizar o projeto e o dimensionamento do sistema de captação do gás de aterro.

Figura 1. Curva de geração de biogás (m<sup>3</sup>/ano)

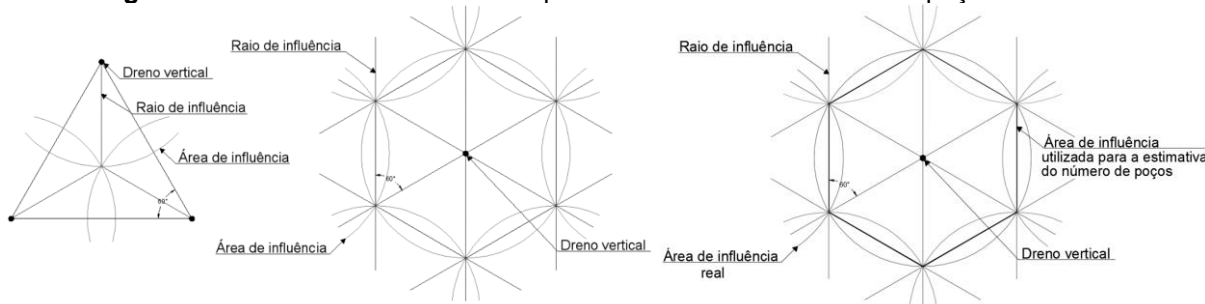


Fonte: POSTALI (2014)

### 3.1 Extração de biogás

O principal fundamento utilizado para dimensionar e dispor os drenos de extração foi o raio de abrangência, que é a área que cada dreno deve suprir. O raio de influência adotado foi estabelecido entre 45 e 67 metros. E para tal, foi necessário considerar a tipologia da cobertura do aterro (impermeável ou permeável), profundidade do mesmo e idade e composição dos RSU retidos. Isto é, quanto maior a densidade dos resíduos orgânicos no interior do aterro, menor o raio de abrangência adotado. (BAGCHI, 2004). Para efetuar o dimensionamento do raio de abrangência, admitiu-se a utilização de uma sobreposição teórica de 27%, conforme Bagchi (2004), a fim de triangular a superfície do AS, obtendo assim, 100% de abrangência. A Figura 2(a) demonstra graficamente a sobreposição conforme sugerido por Bagchi (2004) e a Figura 2(b), a sobreposição do dimensionamento projetado.

Figura 2. Área de influência utilizada para a estimativa do número de poços de coleta

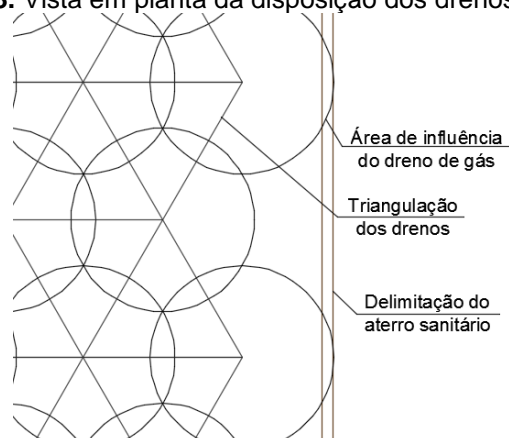


(a) Fonte: BAGCHI (2004)

(b) Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Após especificar o espaçamento dos poços de extração e iniciar o processo de disposição dos drenos foi perceptível que a área de abrangência de cada poço de coleta, ao desconsiderar a metade da área de sobreposição, se transformou na figura de um hexágono, como é expressado na Figura 2 (b). Em função das áreas laterais do aterro serem quadradas e/ou retangulares, as mesmas sofrem com a carência de drenos de aproximadamente 8%, devido ao formato triangular dos mesmos, como demonstrado na Figura 3.

**Figura 3.** Vista em planta da disposição dos drenos no aterro



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Portanto, foi reconhecido um padrão no dimensionamento do número de poços, onde o valor é estimado pela divisão da área do aterro pela área de abrangência do poço de coleta, e o valor resultante é multiplicado pelos 92%, que correspondem à abrangência total dos poços no aterro sanitário.

### 3.2 Transporte de biogás

Foi utilizado como base para o dimensionamento, a quantidade máxima de geração de biogás para o ano de 2025, que é 57.755.580,00 m<sup>3</sup>. Com isto, baseado nos estudos de Bagchi (2004), foi possível estimar a taxa de vazão (m<sup>3</sup>/s). Com este resultado, foi calculada a área da seção transversal da tubulação de biogás, conforme Janna (2011).

Em posse da área da seção transversal, foi possível calcular o diâmetro interno da tubulação e, por conseguinte, foi necessário verificar em qual regime de escoamento a tubulação de coleta de biogás iria trabalhar (lamelar ou turbulento), que é definido pelo de Número de Reynolds. (BAGCHI, 2004). Quando o Número de Reynolds estiver abaixo de 2000, o regime é lamelar. Quando este estiver entre 2000 e 4000, o regime será instável. E conseqüentemente, quando for superior a 4000, o regime será turbulento. (TELLES, 1994).

Sequencialmente, foi essencial averiguar a perda de carga que o biogás iria sofrer ao longo do sistema de captação. Ou seja, foi necessário estabelecer o fator de atrito e para este fim, foi utilizada a definição de Fanning, que consiste na razão entre a tensão de cisalhamento na parede da tubulação e a energia cinética do escoamento, por unidade de volume. (GONÇALVES, 2008).

O cálculo para quantificar o fator de Fanning, é relacionado ao regime de escoamento. Isto é, quando o regime de escoamento for determinado como lamelar, será utilizado a Equação 1. (CARDOSO, 2008). Quando o regime de escoamento for especificado como instável ou turbulento, será empregada a Equação 2. (ANP, 2013).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (1)$$

Onde, f= fator de atrito; R= número de Reynolds.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k}{3,7D_i} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (2)$$

Onde, f= fator de atrito; k= rugosidade equivalente da parede do tubo (m);  $D_i$ = diâmetro interno do tubo (m); Re= número de Reynolds.

Em concordância com Dantas Neto e Souza (2014), a rugosidade das tubulações de polietileno, essencial para calcular o fator de atrito na Equação 1, é estimada em 0,002 m.

Posteriormente, foi calculada a perda de carga a que o biogás seria submetido do poço de extração ao tratamento final, conforme Janna (2011). Tal perda de pressão é o somatório das perdas de carga que ocorrem ao longo da tubulação e nas conexões. (BAGCHI, 2004).

A perda de carga decorrente de válvulas ou conexões, foi estipulada de acordo com os estudos de Bagchi (2004).

O coeficiente de atrito das conexões e válvulas está discriminado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores de K correspondentes a determinadas conexões

Descrição	Valor de K
Curva de 45°	0,35
Curva de 90°	0,75
T de derivação	1
Válvula ½ aberta	4,5

Fonte: Adaptado de Bagchi (2004)

É importante salientar que o valor da perda de pressão encontrado para cada item supracitado na Tabela 2 foi multiplicado pelos números de conexões do mesmo gênero, apresentadas no projeto. Após, a perda de carga total foi calculada de acordo com Bagchi (2004).

### 3.3 Secagem do biogás

A secagem do biogás captado do aterro sanitário foi projetada considerando condensadores do tipo sifão, por se tratar de um elemento simples, de fácil manutenção e com um custo relativamente baixo. (EPA, 2016).

A fim de estimar a distância adequada para a implantação dos condensadores, foi necessário calcular a quantidade de umidade que a ser retida nos mesmos, baseado em Farquhar, McBean e Rovers (1995).

### 3.4 Sopradores de biogás

A pressão requerida para succionar o biogás do interior do aterro sanitário, é descrita pela soma da pressão hidrostática e a perda de carga total na tubulação. (Bagchi, 2004).

$$P_s = \frac{P \times Q}{550} \quad (3)$$

Onde,  $P_s$  = potência do soprador (W); P = pressão requerida ( $N/m^2$ ); Q = taxa de vazão ( $m^3/s$ ).

### 3.5 Queimadores de biogás

Segundo Brito Filho (2005), há alguns elementos de extrema importância para a escolha dos queimadores a serem utilizados, esses elementos estão citados no Quadro 1.

**Quadro 1.** Elementos de projeto importantes para a escolha dos queimadores

Dispositivos	Observações
Indicador e registrador de temperatura.	Utilizado para medir e registrar a temperatura do gás na chaminé do queimador. Quando o queimador está funcionando, deve ser mantida uma temperatura de 815°C ou mais na chaminé.
Sistema de re arranque do piloto automático.	Para assegurar um funcionamento contínuo.
Alarme de mau funcionamento com sistema automático de isolamento.	Utiliza-se o alarme e o sistema de isolamento para isolar o queimador de fornecimento de gás, interromper o ventilador e notificar a alguém responsável sobre a interrupção.
Pontos de inspeção.	Deve haver suficientes pontos de inspeção para permitir um reconhecimento visual da localização do sensor de temperatura dentro da chama.

Fonte: BRITO FILHO (2005)

Além dos aspectos supracitados, é de extrema importância que o queimador mantenha o biogás retido no seu interior de 0,3 a 0,5 segundos, a uma temperatura entre 815 e 900°C, pois este procedimento certifica que os contaminantes contidos no biogás sejam eliminados. (BAGCHI, 2004).

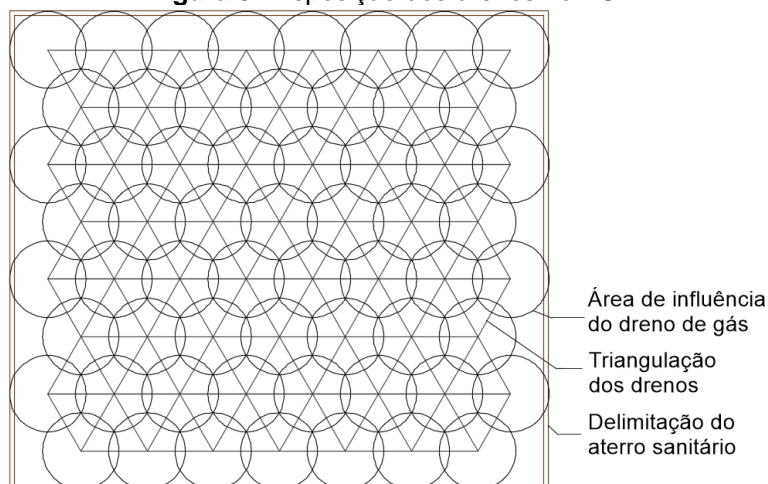
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Extração de biogás

Para a especificação do distanciamento dos drenos de extração, foi adotado um raio de influência de 65 m, visto que a camada de RSU intrínseca no aterro sanitário possuía apenas 4 m de altura. Após a especificação do espaçamento entre os drenos, foi necessário dimensionar a área de influência, determinada em 10.976,87 m<sup>2</sup>.

Posterior à determinação da área de abrangência dos poços de extração, foi possível calcular o número de poços necessários, resultando em 60,345. O número de poços de coleta apresentado é uma estimativa, visto que ao dispor graficamente os drenos na área do aterro sanitário, houve uma reorganização das áreas, modificando levemente o resultado para 60 poços. Esta reorganização é apresentada na Figura 5.

**Figura 5.** Disposição dos drenos no AS

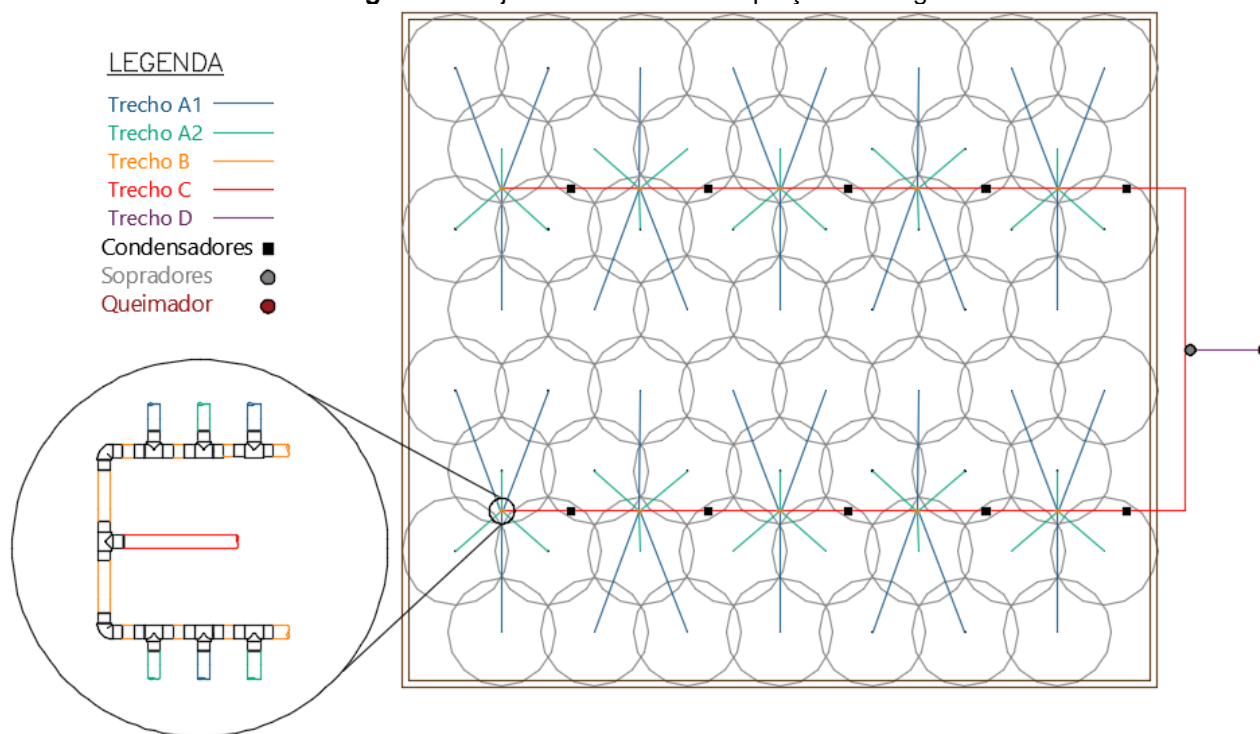


Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

### 4.2 Transporte de biogás

Após quantificar a vazão de biogás, foi subdividida a rede de transporte para dimensionar a tubulação, referente à vazão disposta em cada elemento. A subdivisão está apresentada na Figura 6.

Figura 6. Projeto do sistema de captação do biogás



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

#### 4.2.1 Trecho A1

Para realizar o dimensionamento, primeiramente foi necessário quantificar a vazão do trecho de tubulação A1. Para isso foi fundamental dividir a vazão total por 60, visto que o trecho estudado compreende o transporte do biogás captado de um único poço de coleta.

Após a quantificação da vazão no trecho, foi realizado o dimensionamento do Trecho A1, da mesma maneira que foi realizado para o total de tubulações. A perda de carga neste trecho foi de 48.565,00 N/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.2 Trecho A2

O dimensionamento e a quantificação da perda de carga correspondente ao trecho de tubulação A2 consistiu na mesma metodologia utilizada para o trecho A1, tendo como único parâmetro diferente entre os dois trechos a sua extensão, ou seja, a tubulação de ambos foi dimensionada igualmente, sendo modificada apenas a sua perda de carga, em função do comprimento da tubulação, tendo um valor de 111.709,89 N/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.3 Trecho B

A vazão total de biogás que o trecho B transfere para a rede secundária é equivalente a seis poços, subdivididos em dois grupos de três. A perda de carga deste trecho foi decorrente da soma entre a perda de carga na tubulação, nas conexões, e mais a perda de pressão dos trechos A1 e A2 que formam o trecho B. Como cada lado do ponto de regularização de fluxo recebeu três tubulações, a perda de pressão até o trecho B, foi calculada em 3.069,48 N/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.4 Trecho C

O trecho de tubulação C recebe a vazão de 30 poços de captação. Logo, houve dois meios de dimensioná-la. A primeira foi considerando o diâmetro da tubulação, aumentando concomitantemente ao incremento de vazão que o trecho recebe ao longo de sua extensão. De outro modo, a segunda metodologia seria especificar um diâmetro para todo o trecho C, que suportasse a vazão dos trinta drenos de extração.

Neste caso, foi utilizada a segunda sistemática citada, pois tende a diminuir os esforços na futura execução da tubulação. Desta forma, a vazão do trecho de tubulação C possui um valor de 0,91571 m<sup>3</sup>/s e a perda de carga neste trecho foi calculada em 88.382,82 N/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.5 Trecho D

A vazão pertencente a este trecho é equivalente a vazão total do gás de aterro, sendo este o valor de 1,83142 m<sup>3</sup>/s. Desta maneira, a perda de carga do trecho D resultou num valor de 5.918,38 N/m<sup>2</sup>. Os resultados obtidos nos dimensionamentos supracitados, conforme a divisão da rede de transporte apresentada na Figura 6, são expostos na Tabela 3.

**Tabela 3.** Apresentação dos resultados obtidos no dimensionamento da rede de transporte

Descrição	Extensão (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Diâmetro nominal (mm)	Perda de carga no trecho (N/m <sup>2</sup> )	Perda de carga acumulada (N/m <sup>2</sup> )
Trecho A1	65	0,030524	50	48.565,00	-
Trecho A2	150	0,030524	50	111.709,89	-
Trecho B	6	0,091571	75	3.069,48	480.824,67
Trecho C	1000	0,91571	225	88.382,82	2.507.853,59
Trecho D	100	1,83142	315	5.918,38	5.021.625,56

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

#### 4.3 Secagem

Foi prevista a quantidade de umidade que deve ser retida nos condensadores e este resultado foi multiplicado por 18, uma vez que cada mol corresponde a 18g de água. Com isto, foi possível contabilizar a quantidade de água, em litros, para cada metro cúbico de biogás, sendo esta 0,03596 l/m<sup>3</sup>.

Foi projetada a instalação de um condensador após cada ponto de regulação de fluxo (trecho B), com espaçamento de 167 m, a fim de direcionar a mesma quantidade de fluido para cada condensador, conforme já apresentado na Figura 6. Com este layout cada condensador deve receber a vazão de biogás correspondente a seis poços de extração, resultando em um valor de 0,183142 m<sup>3</sup>/s.

Para quantificar quantos litros de biogás por segundo cada condensador receberia, foi necessário multiplicar a quantidade de água para cada m<sup>3</sup> de biogás, pela vazão de biogás correspondente aos seis poços de extração, resultando num valor de 0,006585786 l/s.

Estimando que cada condensador deva ser exaurido no mínimo uma vez ao dia, foi possível determinar a umidade total que estes devem suportar, multiplicando a quantidade de biogás recebida por cada condensador, em litros por segundo, pela quantidade de segundos que compõe um dia (86400s). O valor é de 569,01 l/dia.

Dados os cálculos, foram estipulados cinco condensadores que suportem no mínimo 570 litros de armazenamento.

#### 4.4 Sopradores

Ao suprimir do somatório as perdas de cargas referente aos poços de extração, eliminou-se a necessidade da utilização da pressão hidrostática. Desta forma, a pressão requerida para captar o biogás, é equivalente a perda de carga de toda a tubulação.

$$P_s = \frac{5021625,5572 \times 1,8314}{550} = 16721,1W \quad (3)$$

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo geral propor o dimensionamento e projeto do sistema de captação para o biogás oriundo de um aterro sanitário na região serrana do Rio Grande do Sul.

No que tange propor e dimensionar os drenos de captação do biogás gerado no AS em estudo, foram dimensionados e projetados os drenos de extração de modo que a disposição dos mesmos envolvesse aproximadamente 92% da área do aterro sanitário, administrando a melhor relação custo benefício. Para este fim, foram quantificados 60 poços de captação, distribuídos de forma triangular, com um espaçamento de 112,45 m.

Contudo, para atender a proposta de sugerir e mensurar o processo de transporte do biogás produzido no aterro sanitário em estudo, incluindo o pré-tratamento requerido pelo mesmo, foi necessário primeiramente esboçar o layout da rede de captação e transporte de biogás no AS. Para isto, foi necessário subdividir os trechos de tubulação, a fim de dimensioná-los conforme a vazão de biogás decorrente em cada segmento.

Em seguida ao dimensionamento, foi possível estabelecer a perda de carga decorrente em toda a extensão da tubulação. Tal perda de pressão foi crucial para identificar a potência necessária para extrair o biogás do interior do AS pelo conjunto de sopradores.

Pertinente ao pré-tratamento, foi proposto um projeto para a remoção de condensados, constituído de dez condensadores distribuídos a uma distância de 167 m, onde cada condensador capta cerca de 570 litros de água diariamente.

Este estudo possui relevância para a área ambiental, devido ao grande aproveitamento energético que proporciona dado o dimensionamento das redes de biogás em um aterro sanitário. Dando, além de um destino correto aos resíduos sólidos urbanos, uma opção de geração de energia, como aspecto positivo da atividade.

## 1. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). Análise da influência de parâmetros utilizados no modelo de cálculo da capacidade. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=69116>>.

BAGCHI, Amalendu. Design of landfills and integrated solid waste management. 3. ed. New Jersey, John Wiley e Sons, 2004. 712p.

BRITO FILHO, Luiz. Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 218f., 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/14550211-Estudo-de-gases-em-aterros-de-residuos-solidos-urbanos-luiz-fernandes-de-brito-filho.html>>.

CARDOSO, G.; FRIZZONE, J.; REZENDE, R. Fator de atrito em tubos de polietileno de pequenos diâmetros. Acta Sci. Agron. V.30, n.3, p. 299-305, 2008. Disponível em: <<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/3497/2476>>.

CAVINATTO, Vilma Maria; RODRIGUES, Francisco Luiz. Lixo: de onde vem? Para onde vai? 2. ed. São Paulo, Moderna, 2010, 96 p.

SOUZA, J. S. C.; DANTAS NETO, J. Equação explícita para cálculo do fator de atrito de Darcy-Weisbach em projetos de irrigação pressurizada. Irriga, v. 19, n. 1, p. 137-148, 2014. Disponível em: <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/726/914>>.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Landfill manuals: landfill site design. Irlanda, [2016?]. Disponível em: <[https://www.epa.ie/pubs/advice/waste/waste/EPA\\_landfill\\_site\\_design\\_guide.pdf](https://www.epa.ie/pubs/advice/waste/waste/EPA_landfill_site_design_guide.pdf)>.

FARQUHAR, Grahame; MCBEAN, Edward; ROVERS, Frank. Solid waste landfill engineering and design. 1. ed. Estados Unidos, Prentice-Hall, 1995, 544p.

GONÇALVES, R. S. A. Avaliação da perda de carga e do fator de atrito no escoamento de fluidos de perfuração em geometrias circular e anulares concêntricos. 118 f., 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.ufrj.br/posgrad/cpeq/paginas/docs\\_teses\\_dissert/dissertacoes\\_docs\\_2008/Dissertacao\\_Rafael\\_Simoes.pdf](http://www.ufrj.br/posgrad/cpeq/paginas/docs_teses_dissert/dissertacoes_docs_2008/Dissertacao_Rafael_Simoes.pdf)>.

KARLSSON, T.; Konrad, O.; Lumi, M.; Schmeier, N. P.; Marder, M.; Casaril, C. E.; Koch, F. F.; Pedroso, A. G. Manual básico de biogás. Lajeado, Editora Univates, 1 ed. 2014, 65p.

LIMA, Luiz Mário Queiroz. Lixo: tratamento e biorremediação. 3. ed. São Paulo, Hemus Editora, 2004, 272p.

PEREIRA, Mário Jorge. Meio ambiente e tecnologia. Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna, 2010, 272p.

POSTALI, C. S. Estimativa de geração de metano e redução de emissões de gases do efeito estufa através da captação e queima para aterro o sanitário de Caxias do Sul. 80 f., 2014. Trabalho de conclusão de curso – Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha (BMELV). Guia prático do Biogás: geração e utilização. Projeto Brasil Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás (PROBIOGÁS). Gülzow, 2010, 236f. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/guia-pratico-do-biogas.pdf>>.

TELLES, Pedro. Tubulações industriais: cálculo. 8 ed. Rio de Janeiro, LTC S.A., 1994, 266p.