

II-326 – VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE LAGOAS PARA TRATAMENTO DO CHORUME DO ATERRO SANITÁRIO DE SANTO ANDRÉ

Roberto Antonio Bezerra Junior⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

Lucas Serrano Ventura de Castro⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia Engenheiro Celso Daniel do Centro Universitário Fundação Santo André (FAENG/FSA).

Gabriela Cherres Xavier Esteves⁽³⁾

Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia Engenheiro Celso Daniel do Centro Universitário Fundação Santo André (FAENG/FSA).

Richard Ribeiro da Silva⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia Engenheiro Celso Daniel do Centro Universitário Fundação Santo André (FAENG/FSA).

Giovani Chaves da Rocha⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia Engenheiro Celso Daniel do Centro Universitário Fundação Santo André (FAENG/FSA).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Vivaldi, 340 – São Bernardo do Campo - SP - CEP: 09617-000 - Brasil - Tel: (11) 99403-6869 - e-mail: robertobezerrajr@yahoo.com.br

RESUMO

O aterro sanitário municipal de Santo André, cidade localizada no ABC paulista, gera cerca de 225 m³ de chorume por dia, o qual, atualmente, não é tratado no próprio local, e sim encaminhado para uma estação de tratamento localizada em outra cidade, próxima de Santo André. O custo de transporte e tratamento desse chorume está em torno de R\$ 54.000,00 por mês. Com o intuito de eliminar e/ou diminuir esse custo, considerado relativamente alto, este trabalho foi direcionado a avaliar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de tratamento de chorume no próprio aterro sanitário de Santo André, sendo o sistema de tratamento constituído por lagoa aeróbia seguida de lagoas de decantação. Ao final deste estudo, foi realizada uma comparação entre o custo total do projeto do sistema de tratamento e o custo atual que a prefeitura de Santo André tem com transporte, tratamento e disposição deste chorume. Os resultados mostraram uma expressiva diminuição nos custos atuais, comprovando grande vantagem na implantação do sistema de tratamento no próprio aterro de Santo André. Ao final do estudo, também foi possível calcular o tempo de amortização ou recuperação do capital total investido no projeto, sendo aquele igual a 111 dias.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoas Aeradas, Lagoas de Decantação, Chorume, Viabilidade.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, nosso país vem tendo um grande aumento da quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados, devido ao crescimento das grandes cidades e consequente aumento da densidade demográfica nesses locais. Durante muitos anos, a disposição final dos resíduos sólidos urbanos era feita em lixões à céu aberto, com consequente contaminação do solo e do lençol freático. No ano de 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), por meio da Lei nº 12.305, proibiu o descarte de resíduos sólidos urbanos em lixões e, assim, a disposição final do lixo em aterros sanitários passou a ser obrigatória. Isso acabou gerando uma série de novos desafios para quem trabalha nessa área no que diz respeito à produção de outros resíduos tóxicos e poluentes, subprodutos do aterro sanitário, tais como o chorume. O chorume nada mais é do que o percolado do lixo do aterro sanitário. É um líquido de cor escura e odor forte, altamente poluente, resultante da decomposição de resíduos orgânicos depositados em aterros sanitários, que passam por processos físicos, químicos e biológicos e se misturam com as águas pluviais. Sendo assim, todo aterro sanitário deve conter uma estrutura de impermeabilização do solo no local de depósito do lixo, a fim de evitar a infiltração daquele poluente no solo e consequente contaminação do lençol freático, bem como um sistema de drenagem para encaminhar o chorume para um sistema de contenção. A partir da captação e armazenamento, ele deve ser, então, encaminhado para

uma estação de tratamento de efluentes e, finalmente, após seu tratamento, ser encaminhado para o córrego de destino.

A cidade de Santo André, localizada no ABC Paulista, tem o melhor aterro sanitário municipal da região metropolitana de São Paulo, com nota 9,6 dada pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Porém, atualmente, o chorume gerado pelo aterro de Santo André não é tratado no próprio local, e sim bombeado para grandes reservatórios, impermeabilizados e escavados no solo, sendo regularmente transportado através de carretas bi-trem até uma estação de tratamento próxima de Santo André. Segundo o SEMASA (Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André), o custo da prefeitura de Santo André com o transporte e tratamento deste chorume em outra cidade próxima é consideravelmente alto, cerca de R\$ 54.000,00 por mês. Sendo assim, a justificativa para realização deste trabalho foi verificar a viabilidade econômica do tratamento deste chorume no próprio local, à poucos metros do aterro sanitário onde o mesmo é gerado, utilizando-se um sistema de lagoa aeróbia seguida de lagoas de decantação, eliminando assim os custos atuais de transporte e tratamento terceirizado. Os sistemas de tratamento por meio de lagoas aeradas seguidas de lagoas de decantação apresentam alta eficiência de remoção de DBO, possibilidade de reuso do efluente e baixo custo de construção e operação (SILVA, et al. 2010, OSWALD, 1995).

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de tratamento de chorume no aterro sanitário de Santo André, constituído por sistema de lagoa aeróbia seguida de lagoas de decantação, relacionando o custo total do projeto do sistema de tratamento com o custo atual que a prefeitura de Santo André tem com transporte, tratamento e disposição deste chorume, sendo possível, finalmente, calcular o tempo de amortização ou recuperação do capital total investido no projeto.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para a realização deste trabalho, buscamos, juntamente com o SEMASA, acesso ao local onde o chorume era coletado e armazenado; a fim de coletar amostras deste efluente para analisar sua demanda bioquímica de oxigênio (DBO). As análises de DBO foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005).

Como já citado anteriormente, já existem no local do aterro dois reservatórios impermeabilizados e escavados no solo, os quais atualmente são utilizados apenas para armazenamento do chorume gerado. Sendo assim, neste trabalho, para redução nos custos de investimento do projeto, foi decidido transformar esses dois reservatórios em lagoas de decantação, e foi projetada uma nova lagoa – de aeração – a qual antecedeu aquelas duas nas fases de tratamento. Os dois reservatórios reaproveitados como lagoas de decantação possuem volumes de 5096 m³ (lagoa de decantação 1) e 1120 m³ (lagoa de decantação 2). Ambos passaram por testes recentemente a fim de verificar seu desempenho operando como lagoas de decantação, e apresentaram uma eficiência satisfatória de retenção de sólidos, em torno de 85 % para vazão de projeto utilizada. O projeto da lagoa aerada e as modificações realizadas nas lagoas de decantação foram realizadas de acordo com os métodos e parâmetros de projeto recomendados por Além Sobrinho e Rodrigues (1981), Além Sobrinho (1998), Said et al., 1999, Metcalf e Eddy (2003) e Von Sperling (2002, 2005).

RESULTADOS OBTIDOS

PROJETO DA LAGOA AERADA

A DBO₅ média do chorume a ser tratado ficou em torno de 4910 mgDBO₅/L, considerando um número de 30 amostras analisadas durante 30 dias (uma amostra por dia). Adotou-se para o projeto da lagoa aerada um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 4 dias e uma altura (H) de 3,5 m. A vazão de projeto utilizada foi a vazão média (Q) o qual o chorume era gerado, ou seja, 2,6 L/s.

$$DBO_5 = 4910 \text{ mgDBO}_5/\text{L} = 4910 \text{ gDBO}_5/\text{m}^3$$

$$Q = 2,6 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0,0026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 9,36 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 224,64 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Primeiramente, com o tempo de detenção hidráulica e a vazão, calcula-se o volume da lagoa aerada (V) pela Equação 1. Em seguida, pela Equação 2, calcula-se a área (A), dividindo-se o seu volume pela sua altura.

$$V = TDH \cdot Q = 4d \cdot 224,64 \frac{m^3}{d} = 898,6 m^3 \cong 900 m^3 \quad \text{Equação (1)}$$

$$A = \frac{V}{H} = \frac{900 m^3}{3,5 m} = 257 m^2 \quad \text{Equação (2)}$$

A concentração de sólidos suspensos voláteis na lagoa (X_v), responsável pelo tratamento, é dada pela Equação 3, onde o Y é o fator de conversão substrato células (0,6 mgSSV/mgDBO₅), S₀ é a concentração de DBO₅ no chorume, S é a concentração de DBO₅ solúvel na saída da lagoa aerada (estimativa inicial de 700 mgDBO₅/L), e k_d é o coeficiente de decaimento endógeno (0,06 d⁻¹). De início foi feito a estimativa da concentração de saída de 700 mgDBO₅/L, e com isso, obteve-se o valor da concentração de sólidos suspensos voláteis.

$$X_v = \frac{Y \cdot (S_0 - S)}{1 + k_d \cdot TDH} \quad \text{Equação (3)}$$

$$X_v = \frac{0,6 \cdot (4910 - 700)}{1 + 0,06 \cdot 4} = 2037,1 \frac{mgSSV}{L}$$

Em seguida, com o valor da concentração de sólidos suspensos voláteis, obtêm-se o valor da concentração de DBO₅ solúvel na saída da lagoa aerada pela Equação 4, onde k' é a constante da biomassa (0,017 L/mgSSV.d).

$$S = \frac{S_0}{1 + k' \cdot X_v \cdot TDH} = \frac{4910}{1 + 0,017 \cdot 2037,1 \cdot 4} = 35,2 \frac{mgDBO_5}{L} \quad \text{Equação (4)}$$

Em seguida calcula-se novamente a concentração de sólidos suspensos voláteis da lagoa e a concentração de DBO₅ solúvel no efluente, até que seus valores se estabilizem.

$$X_v = \frac{0,6 \cdot (4910 - 35,2)}{1 + 0,06 \cdot 4} = 2358,8 \frac{mgSSV}{L}$$

$$S = \frac{4910}{1 + 0,017 \cdot 2358,8 \cdot 4} = 30,42 \frac{mgDBO_5}{L}$$

$$X_v = \frac{0,6 \cdot (4910 - 30,42)}{1 + 0,06 \cdot 4} = 2361,1 \frac{mgSSV}{L}$$

$$S = \frac{4910}{1 + 0,017 \cdot 2361,1 \cdot 4} = 30,39 \cong 30,4 \frac{mgDBO_5}{L}$$

Assim, os valores de concentração de sólidos suspensos voláteis e DBO₅ estabilizados foram de 2361,1 mgSSV/L e 30,4 mgDBO₅/L, respectivamente.

Em seguida, foi feito o cálculo da DBO₅ particulada do efluente da lagoa aerada (DBO_{5partic}), multiplicando-se a quantidade de DBO₅ contida em cada miligrama de sólidos suspensos voláteis (0,6 mgDBO₅/mgSSV) pela concentração de sólidos suspensos voláteis na lagoa aerada.

$$DBO_{5partic} = 0,6 \frac{mgDBO_5}{mgSSV} \cdot 2361,1 \frac{mgSSV}{L} = 1416,7 \frac{mgDBO_5}{L}$$

A seguir, calculou-se a DBO₅ total no efluente da lagoa aerada (DBO_{5total}), somando-se a DBO₅ particulada e a solúvel.

$$DBO_{5total} = 1416,7 + 30,4 = 1447,1 \frac{mgDBO_5}{L}$$

O requisito de oxigênio (RO) foi calculado pela Equação 5, onde “a” é a massa de oxigênio que deve ser fornecida para cada grama de DBO₅ removida (1,2 gO₂/gDBO₅).

$$RO = a \cdot Q \cdot (S_0 - S) \quad \text{Equação (5)}$$

$$RO = 1,2 \frac{\text{gO}_2}{\text{gDBO}_5} \cdot 224,64 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot (4910 - 30,4) \frac{\text{gDBO}_5}{\text{m}^3} = 1315384 \frac{\text{gO}_2}{\text{d}} = 54,81 \frac{\text{kgO}_2}{\text{h}}$$

A potência a ser introduzida na água da lagoa aerada (Pot) é dada pela Equação 6, onde EO_{campo} é a eficiência do aerador utilizado em campo (1,08 kgO₂/kWh).

$$Pot = \frac{RO}{EO_{\text{campo}}} = \frac{54,81 \frac{\text{kgO}_2}{\text{h}}}{1,08 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kWh}}} = 50,75 \text{ kW} = 50750 \text{ W} = 69 \text{ CV} \quad \text{Equação (6)}$$

A densidade de potência (DP) foi calculada pela Equação 7, o qual é a potência a ser introduzida na água por volume da lagoa, obtendo-se o valor de 56,4 W/m³, o qual é maior que o valor mínimo recomendado pelo critério de projeto que é de 3 W/m³.

$$DP = \frac{Pot}{V} = \frac{50750 \text{ W}}{900 \text{ m}^3} = 56,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^3} \geq 3,0 \frac{\text{W}}{\text{m}^3} \quad \text{Equação (7)}$$

De acordo com Said et al., 1999, a utilização de vários aeradores uniformemente distribuídos tem efeito similar à subdivisão da lagoa em várias câmaras em série, resultando em aumento da mistura, da oxigenação e, conseqüentemente, da eficiência de remoção de DBO. Assim, foram adotados quatro aeradores de 20 CV cada, suprindo-se os 69 CV necessários.

CÁLCULO DA DBO₅ TOTAL DO EFLUENTE DA LAGOA DE DECANTAÇÃO 1

Conforme testes realizados, adotou-se uma eficiência de retenção de sólidos pela lagoa de decantação 1 de 85 %. Assim, a concentração de sólidos suspensos voláteis no efluente da lagoa de decantação 1 (SSV_{e1}), portanto, é igual a 15 % da concentração de sólidos suspensos voláteis que entram na referida lagoa.

$$SSV_{e1} = 0,15 \cdot 2361,1 \frac{\text{mgSSV}}{\text{L}} = 354,2 \frac{\text{mgSSV}}{\text{L}}$$

A DBO₅ particulada no efluente da lagoa de decantação 1 (DBO_{5partic1}) foi obtida multiplicando-se a quantidade de DBO₅ que cada miligrama de sólidos suspensos voláteis apresenta (0,6 mgDBO₅/mgSSV) pela concentração de sólidos suspensos voláteis no efluente da lagoa de decantação 1.

$$DBO_{5partic1} = 0,6 \frac{\text{mgDBO}_5}{\text{mgSSV}} \cdot 354,2 \frac{\text{mgSSV}}{\text{L}} = 212,5 \frac{\text{mgDBO}_5}{\text{L}}$$

A DBO₅ total do efluente da lagoa de decantação 1 (DBO_{5total1}) foi calculada somando-se a DBO₅ particulada no efluente da referida lagoa com sua DBO₅ solúvel.

$$DBO_{5total1} = 212,5 + 30,4 = 242,9 \text{ mgDBO}_5/\text{L}$$

CÁLCULO DA DBO₅ TOTAL DO EFLUENTE DA LAGOA DE DECANTAÇÃO 2

Para lagoa de decantação 2, também adotou-se que uma eficiência de retenção de sólidos de 85 %. Assim, a concentração de sólidos suspensos voláteis no efluente da lagoa de decantação 2 (SSV_{e2}) é igual a 15 % da concentração de sólidos suspensos voláteis que entram na referida lagoa.

$$SSV_{e2} = 0,15 \cdot 354,2 \text{ mgSSV}/\text{L} = 53,13 \text{ mgSSV}/\text{L}$$

A DBO₅ particulada no efluente da lagoa de decantação 2 (DBO_{5partic2}) foi obtida multiplicando-se a quantidade de DBO₅ que cada miligrama de sólidos suspensos voláteis apresenta (0,6 mgDBO₅/mgSSV) pela concentração de sólidos suspensos voláteis no efluente da lagoa de decantação 2.

$$DBO_{5partic2} = 0,6 \frac{mgDBO_5}{mgSSV} \cdot 53,13 \frac{mgSSV}{L} = 31,88 \text{ mgDBO}_5/L$$

A DBO₅ total do efluente da lagoa de decantação 2 (DBO_{5total2}) foi obtida, finalmente, somando-se a DBO₅ particulada no efluente da lagoa com sua DBO₅ solúvel.

$$DBO_{5total2} = 31,88 + 30,4 = 62,28 \text{ mgDBO}_5/L$$

Assim, verificou-se que o valor de 62,28 mgDBO₅/L está de acordo com o exigido pela resolução nº 430/2011 do CONAMA, o qual estabelece o valor máximo para lançamento de 120 mgDBO₅/L, ou eficiência mínima de remoção de DBO₅ de 60 %.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos no projeto, foi feita uma pesquisa no mercado, a fim de obter informações sobre os custos de aquisição de equipamentos necessários e mão de obra para executar o projeto. O custo para escavação do local onde será implantada a nova lagoa aerada, incluindo o custo de transporte da terra retirada para descarte, é de R\$ 35.000,00.

Para a impermeabilização da lagoa de aeração, utiliza-se a manta de polietileno de alta densidade (PEAD), que deve ser aplicada em toda a área interna da lagoa. A partir da área superficial já calculada (257m²), e levando em consideração o espaço disponível para construção, foi definido as dimensões da lagoa aerada: 21,4 m de comprimento por 12,0 m de largura, e taludes com 7,0 m de comprimento. Assim, a soma das quatro áreas laterais é de 636 m², e a área total de impermeabilização, incluindo a área do fundo da lagoa (257 m²), é de 893 m². O custo de aquisição da manta de PEAD, incluindo o custo de mão de obra de instalação, é de R\$ 16,00 por metro quadrado de manta instalada. Assim, o custo total para impermeabilização da lagoa aerada é de R\$ 14.288,00.

O custo de cada aerador de 20 CV é de R\$ 25.000,00. Como são necessários quatro aeradores de 20 CV, o custo total com aeradores é de R\$ 100.000,00. Além disso, foram levados em consideração outros materiais e equipamentos comuns utilizados na construção e operação de lagoas, tais como bombas de sucção, elevatórias, grades, peneiras, tubos e conexões, mangueiras, painéis elétricos, fios, ferramentas em geral, os quais totalizam um custo de aproximadamente R\$ 50.000,00.

Assim, o custo total do projeto foi obtido somando-se o custo de escavação e transporte, impermeabilização, aeradores e demais materiais secundários:

$$\text{Custo Total} = \text{R\$ } 35.000,00 + \text{R\$ } 14.288,00 + \text{R\$ } 100.000,00 + \text{R\$ } 50.000,00 = \text{R\$ } 199.288,00$$

Finalmente, o tempo de amortização do projeto, de apenas 111 dias, foi obtido dividindo-se o custo total do projeto pela economia mensal que se fará em não enviar mais o chorume para tratamento por empresa terceirizada.

$$\text{Tempo de Amortização} = \frac{\text{R\$ } 199.288,00}{\text{R\$ } 54.000,00/\text{mês}} = 3,7 \text{ meses} = 111 \text{ dias}$$

CONCLUSÕES

A implantação do sistema de lagoas para tratamento do chorume do aterro sanitário de Santo André se mostrou altamente viável, sendo necessários apenas 111 dias para recuperação de todo capital investido no projeto a partir da economia que se fará em não enviar mais o chorume para tratamento em empresa terceirizada. O efluente da segunda lagoa de decantação apresentou uma DBO₅ final satisfatória (62,28

mgDBO₅/L), ou seja, abaixo do limite máximo de lançamento estabelecido pela resolução n° 430/2011 do CONAMA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALÉM SOBRINHO, P., RODRIGUES, M.R. Lagoas aeradas aplicadas ao tratamento de esgotos domésticos. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Fortaleza, 1981.
2. ALÉM SOBRINHO, P. Lagoas aeradas – aspectos teóricos, resultados experimentais, considerações sobre o projeto. IV Curso Internacional Sobre Controle da Poluição das Águas. *Japan International Cooperation Agency*, São Paulo, 1998.
3. APHA. *American Public Health Association. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*. 21ª edição. Washington, 2005.
4. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 16 set. 2018.
5. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n° 430 de 13 de maio de 2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357 de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 20 abr. 2018.
6. METCALF, L.; EDDY, H. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4ª edição. Editora McGraw-Hill. New York, 2003. 1819 p.
7. OSWALD, W.J. *Ponds in the twenty-first century*. *Water Science and Technology*, London, v.31, n.12, p.1-8, Dec. 1995.
8. PNRS. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Ministério do Meio Ambiente. Lei n° 12.305 de 02 de agosto de 2010, 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 27 set. 2018.
9. SAID, M.A., ALÉM SOBRINHO, P., PIVELI, R.P. Lagoas aeradas tratando esgotos sanitários: redução no custo de energia elétrica. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999.
10. SEMASA. Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André. Disponível em: <<http://www.semasa.sp.gov.br>>. Acesso em: 22 set. 2018.
11. SILVA, F.J.A., SOUZA, R.O., ARAÚJO, A.L.C. *Revisiting the influence of loading on organic material removal in primary facultative ponds*. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol.27, n.1, p.63-69, Mar. 2010.
12. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Lagoas de estabilização. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-DESA. Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG. Vol. 3, 2ª edição. Editora DESA-UFMG. Belo Horizonte, 2002. 196 p.
13. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-DESA. Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG. Vol 1, 3ª edição. Editora DESA-UFMG. Belo Horizonte, 2005. 452 p.