



II-027 - LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO EM LAGOAS AERADAS DE PÓS-TRATAMENTO DE REATORES ANAERÓBIOS: ESTUDO DE CASO DO COMPORTAMENTO DE ACÚMULO DE LODO DE ESGOTO

Adalton Aparecido Rodrigues ⁽¹⁾

Químico Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Técnico em Saneamento da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

Simone Bittencourt ⁽²⁾

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Agronomia, área de concentração Ciências do Solo pela UFPR. Doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR. Profissional da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

Endereço⁽¹⁾: Rua Engenheiros Rebouças, 1376 - Rebouças, Curitiba - PR, CEP 80215-900 - Brasil - Tel: (41) 3330-7229. e-mail: adaltonr@sanepar.com.br.

RESUMO

As lagoas de pós-tratamento são utilizadas para tratamento secundário de águas residuais ou como mecanismo de polimento. Aeradores mecânicos, podem ser utilizados em lagoas para promover a introdução e dissolução do oxigênio no meio líquido, de modo a obter uma maior eficiência no processo. Por meio de levantamento batimétrico é possível caracterizar o acúmulo de sedimentos em uma lagoa de tratamento de esgoto, permitindo verificar o comportamento do fluido e a deposição de sólidos ao longo do perfil longitudinal. O presente estudo teve por objetivo comparar o levantamento batimétrico de três lagoas, localizadas na região central do estado do Paraná, Brasil, de pós-tratamento de esgoto tratado em reatores anaeróbios, que foram adaptadas com a introdução de aeradores superficiais. Na lagoa A o volume acumulado de lodo, 10.026 m³, representou 73,4% do volume total da lagoa, sendo que 31,6% do total de lodo foi verificado na porção não segmentada da lagoa. Com um volume acumulado de lodo de 6.155 m³, a lagoa B teve 62,5% do seu volume total ocupado por lodo, sendo que 37,0% do total de lodo foi verificado nos 30 m iniciais próximo à entrada do afluente. A lagoa C com 39,5% de seu volume com lodo acumulado (2.252 m³), apresentou 47,6% do lodo concentrado nos 30 m iniciais e 37,1% nos 30 m finais. Verificou-se comportamentos longitudinais de depósito de lodo diferenciados nas lagoas, influenciados pelo posicionamento de entrada e saída, de aeradores e da presença de segmentação da lagoa.

PALAVRAS-CHAVE: Batimetria. Tratamento de esgoto. Gestão de Resíduos de Saneamento.

INTRODUÇÃO

As lagoas de pós-tratamento são utilizadas para tratamento secundário de águas residuais ou como mecanismo de polimento. Estas unidades de tratamento são classificadas em facultativas, aeróbias, anaeróbias, aeradas, aeradas de alta taxa e de maturação (BITTON, 2005).

Aeradores mecânicos, equipamentos com turbinas rotativas de eixo vertical, podem ser utilizados em lagoas para promover a introdução e dissolução do oxigênio no meio líquido, de modo a obter uma maior eficiência no processo, sendo uma alternativa para lagoas facultativas que operam de forma saturada e não possuem área suficiente para sua expansão (VON SPERLING, 1996).

Os aeradores flutuantes, instalados na superfície do meio líquido, fornecem oxigênio para manter a biomassa (sólidos) em suspensão no meio líquido. Esses sólidos devem passar por um processo de sedimentação e estabilização no sistema.



Ao longo dos anos de operação, o lodo que se deposita no fundo das lagoas é constituído por compostos inorgânicos, compostos orgânicos aportados pelo esgoto, microrganismos, e subprodutos da atividade dos microrganismos (GONÇALVES, 1999). Dessa forma, para evitar que o excesso de lodo acumulado prejudique a eficiência do tratamento do esgoto é necessária a realização do serviço de retirada desses sólidos, normalmente realizado por meio de dragagem.

Esse serviço, deve ser realizado com base em uma quantificação prévia, de modo a evitar que o volume dragado contenha baixo teor de sólidos, prevenindo gastos desnecessários com energia e estruturas de desaguamento.

Fatores como a qualidade do esgoto afluente, o período de tempo em operação, o posicionamento dos dispositivos de entrada e saída, as características geométricas da lagoa, as taxas de carregamento orgânico e hidráulico influenciam na acumulação de lodo (GONÇALVES, 1999).

Estimar a quantidade de lodo acumulado em uma lagoa é essencial para o planejamento de etapas que fazem parte da gestão do material, como a definição da forma de remoção, desaguamento, transporte e destinação (GONÇALVES; OLIVEIRA, 1999).

Por meio de levantamento batimétrico, mensuração topográfica que visa coletar dados sobre o perfil de elevação em diferentes ambientes, é possível caracterizar o acúmulo de lodo em uma lagoa de tratamento de esgoto, permitindo verificar o comportamento do fluido e a deposição de sólidos ao longo do perfil longitudinal das mesmas (ORTIZ; MATSUMOTO, 2012).

Este estudo de caso teve como objetivo comparar o levantamento batimétrico de três lagoas, localizadas na região central do estado do Paraná, Brasil, de pós-tratamento de esgoto tratado em reatores anaeróbios, que foram adaptadas com a introdução de aeradores superficiais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os levantamentos batimétricos foram realizados, em 2023, em três lagoas, de profundidades semelhantes, de pós-tratamento de esgoto tratado em reatores anaeróbios. As lagoas, localizadas na mesorregião centro ocidental do estado do Paraná, têm suas dimensões apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Dimensões das lagoas aeradas de pós-tratamento de esgoto da mesorregião centro ocidental do Paraná, objeto de levantamento batimétrico, em 2023.

Lagoa	Comprimento	Largura	Altura média da lâmina d'água	Área	Volume
		m		m ²	m ³
A	122	56	2,0	6.832	13.664
B	107	40	2,3	4.280	9.844
C	66	48	1,8	3.168	5.702

Nota: Talude da lagoa não considerado nas dimensões

As lagoas possuíam aeradores superficiais instalados para a oxigenação do meio líquido, os quais estavam desligados para realização do levantamento. O número de aeradores era de 24 na lagoa A, 7 na lagoa B e 6 na lagoa C (Figura 1).



Fonte: Google Earth (2023)

Figura 1: Vista aérea das lagoas aeradas A, B e C de pós-tratamento de esgoto da mesorregião centro ocidental do Paraná, objeto de levantamento batimétrico, em 2023.

Para a realização da batimetria, as lagoas foram divididas em partes equidistantes, de 5 m na largura e 10 m no comprimento, com a utilização de cordas sinalizadas, formando matrizes, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Características da demarcação (piqueteamento) para levantamento batimétrico de lagoas aeradas de pós-tratamento de esgoto da mesorregião centro ocidental do Paraná, 2023.

Lagoa	Número de linhas	Pontos por linha	Total de pontos de medição
A	12	10	120
B	10	8	80
C	6	9	54

Utilizou-se medidor graduado para verificar a profundidade da lagoa e medidor de perfil de sólidos (Sludge Judge - tubo transparente graduado com válvula de retenção) para determinar a altura da camada do líquido sem a presença de lodo (Figura 2). A altura da camada de lodo foi calculada pela diferença entre a profundidade da lagoa e a altura da camada líquida sem a presença de lodo, em cada ponto de medição (Equação 1).

$$\text{Altura da camada de lodo (m)} = \text{Profundidade da lagoa} - \text{Altura de líquido sem lodo} \quad (\text{EQUAÇÃO 1})$$



Figura 2: Levantamento batimétrico com coletor e medidor de perfil de sólidos.

Elaborou-se um esquema gráfico para representação do comportamento do lodo no perfil longitudinal de cada uma das três lagoas. Uma vez que no sentido do comprimento das lagoas os pontos de medição eram a cada 10



m, utilizou-se o valor medido aos 10 m como sendo, também, o valor de medição aos 5 m, com o objetivo de obter na representação gráfica de 5 em 5 m.

Combinando-se as informações obtidas por meio da batimetria e as dimensões das lagoas, realizou-se a estimativa do volume de lodo acumulado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 e a Figura 3 apresentam, respectivamente, os resultados de estimativa de volume de lodo e as representações gráficas de altura de lodo acumulado em cada uma das três lagoas.

Tabela 3: Altura média e volume de lodo das lagoas aeradas de pós-tratamento de esgoto da mesorregião centro ocidental do Paraná, objeto de levantamento batimétrico, em 2023.

Lagoa	Altura média do lodo na lagoa (m)	Volume da lagoa (m ³)	Volume de lodo na lagoa (m ³)	Porcentagem de lodo na lagoa
A	1,47	13.664	10.026	73,4
B	1,44	9.844	6.155	62,5
C	0,71	5.702	2.252	39,5

Observou-se (Figura 3) comportamentos diferenciados de acordo com posicionamento de entrada e saída, de aeradores e da presença de segmentação da lagoa. No entanto, para as três lagoas alturas mais elevadas de lodo estavam presentes no início das lagoas, próximo à entrada do afluente. A Tabela 4 apresenta a estimativa de porcentagem de lodo nos 30 m iniciais próximos à entrada do afluente da lagoa e nos últimos 30 m próximos à saída do efluente.

Tabela 4: Porcentagem do volume total de lodo nos 30 m iniciais, próximos à entrada do afluente, e nos 30 m finais, próximos à saída do efluente, de lagoas aeradas de pós-tratamento de esgoto da mesorregião centro ocidental do Paraná, objeto de levantamento batimétrico, em 2023.

Lagoa	% de lodo acumulado	
	30 m iniciais próximo à entrada do afluente	30 m finais, próximo à saída do efluente
A	9,74	14,4
B	37,0	11,4
C	47,6	37,1

Observou-se um comportamento variável no acúmulo de lodo, sendo que para as lagoas B e C uma maior porcentagem de lodo foi verificada nos 30 m iniciais. Usualmente na entrada das lagoas há a existência de regiões de baixa velocidade de escoamento, favoráveis à sedimentação (TEIXEIRA, 1995).

Já na lagoa A, com presença de chicana, um maior acúmulo de lodo foi verificado na porção não segmentada da lagoa, com 31,6% do total de lodo (Figura 3). Fato que indica a existência de zonas mortas nessa região da lagoa. Nas zonas mortas, segundo Teixeira (1995), os tempos de permanência do líquido são, em média, altos quando comparados ao tempo teórico de detenção hidráulica. Dessa forma, são encontradas velocidades baixas que favorecem a sedimentação.

Souza et al. (2012) observaram em estudo com uso de ferramenta computacional para avaliar a influência de diferentes configurações de chicanas no comportamento hidrodinâmico de lagoas facultativas (sem aeração) que o escoamento para lagoas sem chicanas, como é o caso da Lagoa B, é caracterizado por altos níveis de curto-circuito e grandes regiões de recirculação. Os autores verificaram a existência de zonas mortas, regiões de circulação contracorrente, à esquerda e à direita da entrada da lagoa sem chicanas e sem aeração. Os autores observaram que a introdução de chicana longitudinal, em lagoa sem aeração, promove menor incidência de campos com velocidade baixa, apresentando um fluxo hidráulico em pistão.

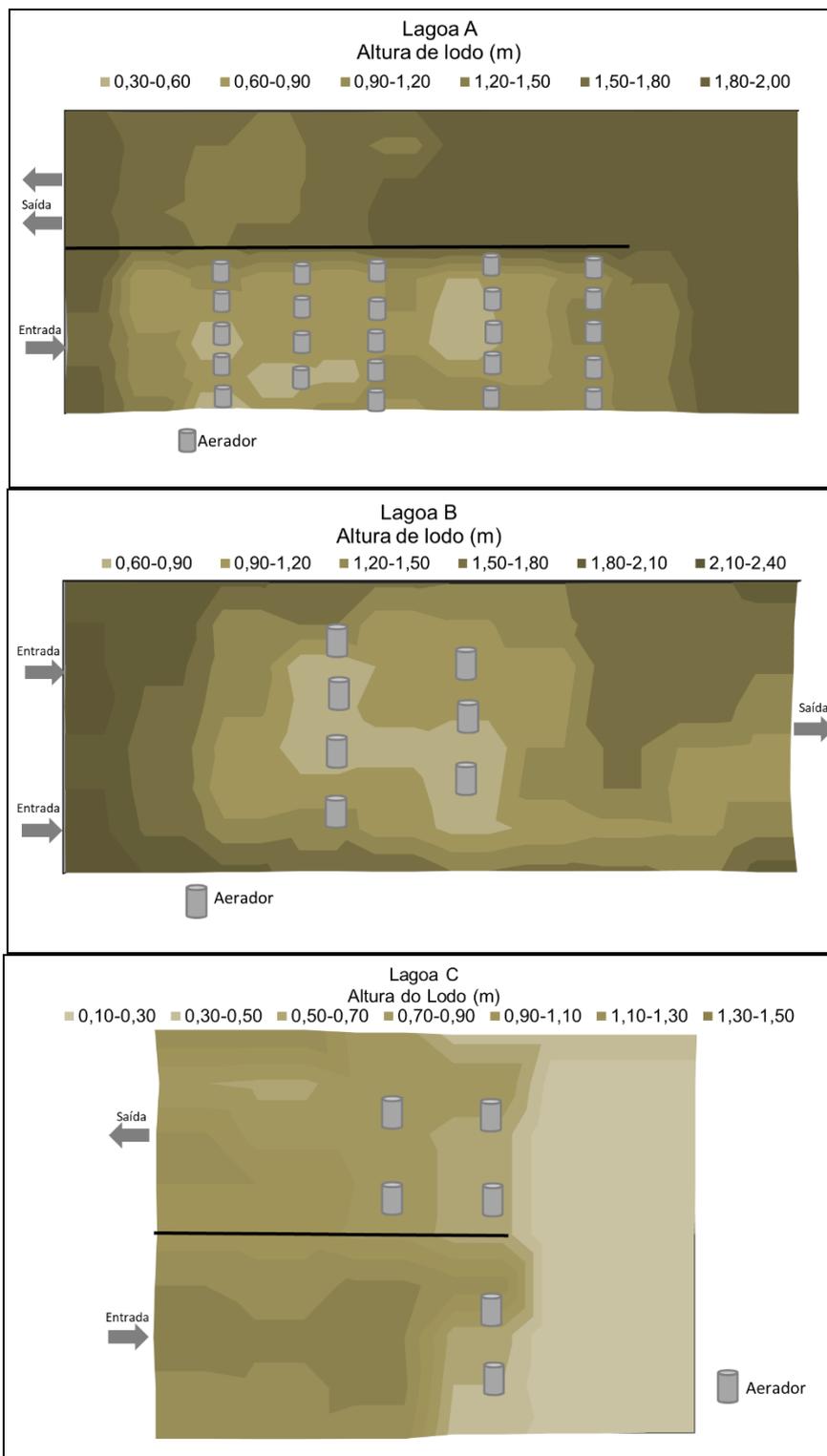


Figura 3: Representação gráfica da altura de lodo nas lagoas aeradas de pós-tratamento de esgoto da mesorregião centro ocidental do Paraná, objeto de levantamento batimétrico, em 2023.



No escoamento de fluxo em pistão as partículas que entram na lagoa não se misturam com as partículas já existentes no seu interior, sendo que as primeiras partículas a entrarem são também as primeiras a saírem da lagoa. Já no escoamento de mistura completa as partículas introduzidas na lagoa se misturam instantaneamente com as partículas já existentes ocasionando uma mistura uniforme ao longo da lagoa, como consequência as partículas que saem da lagoa possuem a mesma composição das partículas existentes em seu interior.

É possível visualizar na Figura 3 que a presença de aeradores minimiza a sedimentação de lodo na região onde estão instalados, verificando-se baixo ou nenhum acúmulo de lodo.

O fato de as lagoas apresentarem comportamento de acúmulo de lodo em função de sua formatação, faz-se imprescindível a realização de levantamento batimétrico para planejar o serviço de remoção de lodo por meio de dragagem priorizando a remoção nos locais de maior acúmulo.

CONCLUSÕES

Na lagoa A o volume acumulado de lodo, 10.026 m³, representou 73,4% do volume total da lagoa, sendo que 31,6% do total de lodo foi verificado na porção não segmentada da lagoa.

Com um volume acumulado de lodo de 6.155 m³, a lagoa B teve 62,5% do seu volume total ocupado por lodo, sendo que 37,0% do total de lodo foi verificado nos 30 m iniciais, próximo à entrada do afluente.

A lagoa C com 39,5% de seu volume com lodo acumulado (2.252 m³), apresentou 47,6% do lodo concentrado nos 30 m iniciais, próximo à entrada do afluente, e 37,1% nos 30 m finais, próximo à saída do efluente.

Verificou-se comportamentos longitudinais de depósito de lodo diferenciados nas lagoas, influenciados pelo posicionamento de entrada e saída, de aeradores e da presença de segmentação da lagoa.

Dessa forma, conclui-se que levantamento batimétrico além de ser essencial para a quantificação de lodo a ser removido de lagoas saturadas, também é necessário para identificar os locais de maior acúmulo de lodo, nos quais o serviço de remoção deve ser priorizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BITTON, G. **Wastewater microbiology** (Third edition). New Jersey, EE.UU: John Wiley & Sons Inc., 2005. 746 p.
2. GONÇALVES, R. F. Capítulo 2 - Formação de lodos em lagoas de estabilização anaeróbias ou facultativas primárias. In: **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. GONÇALVES, R. F. (coord.) Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Departamento de Hidráulica e Saneamento Centro Tecnológico Universidade Federal do Espírito Santo. Dezembro de 1999.
3. GONÇALVES, R. F.; OLIVEIRA, F. F. Capítulo 3 - Estimativa da formação de lodo em lagoas anaeróbias e facultativas primárias. In: **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. GONÇALVES, R. F. (coord.) Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Departamento de Hidráulica e Saneamento Centro Tecnológico Universidade Federal do Espírito Santo. Dezembro de 1999.
4. ORTIZ, I. A. S.; MATSUMOTO, T. Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de Ilha Solteira (SP) por lagunas facultativas primarias. **Ingeniería y Desarrollo**, Porto Colombia, v.30, n.2, p.199-222, 2012
5. SOUZA, VAS; HELBEL, AF; JANZEN, JG; DIAS, R H. S; COLTRE, H. C. DE S. Simulação computacional do comportamento hidrodinâmico em lagoas facultativas com chicanas. **Science & Engineering Journal**. 21 (1): 15 – 21, jan. – jun. 2012
6. TEIXEIRA, E. C. Importância da hidrodinâmica de reatores na otimização de processos de desinfecção de águas de abastecimento: uma análise crítica. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 18, 1995, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1995.



7. VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**, v. 2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 1996. 211p.